

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2011

Eva Gavronová

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky

Fototerapie – Technické prostředky
Phototherapy – Engineering means

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Eva Gavronová**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik
Téma: Fototerapie - technické prostředky
Phototherapy - Engineering Means

Zásady pro vypracování:

1. Fotonická medicína.
2. Světelný paprsek a živočišná tkáň.
3. Biostimulace - technický princip a metody fototerapie.
4. Technické prostředky bioterapie a jejich normy.
5. Aplikační bezpečnost - provozní měření.
6. Zhodnocení fototerapie z hlediska účinnosti technických prostředků ve vybraném lékařském oboru.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. NAVRÁTIL, L. - ROSINA, J., et al. *Medicínská biofyzika*. 1.vyd. Praha: Grada Publishing, 2005. 524 s. ISBN 80-247-1152-4.
2. HRAZDIRA, I.- MORNSTEIN, V. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. 1.vyd. Brno: Neptun, 2001. 381 s. ISBN 80-902896-1-4.
3. NAVRÁTIL, L. - HUBÁČEK, J. *Moderní fototerapie a laseroterapie*. Praha: Magnus, 2000. 227 s. ISBN 80-902318-3-7.
4. CAPKO, J. *Základy fyziotrické léčby*. 1.vyd. Praha: Grada Publishing, 1998. 394 s. ISBN 80-7169-341-3.
5. JAVŮREK, J. *Fototerapie biolaserem: léčebná metoda budoucnosti*. 1.vyd. Praha: Grada Publishing, 1995. 201 s. ISBN 80-7169-046-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Petr Tiefenbach**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Eduard Polák

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem veškerou odbornou literaturu a prameny, ze kterých jsem čerpala.

Datum odevzdání bakalářské práce:

.....

Poděkování

Děkuji tímto Mgr. Petru Tiefenbachovi za rady při vypracování bakalářské práce. Děkuji také Ing. Eduardu Polákovi za konzultace, cenné připomínky a poskytnuté zázemí spojené s realizací práce. V neposlední řadě děkuji své rodině, především mamince Ireně Gavronové za podporu po celou dobu studia.

Abstrakt

Tématem bakalářské práce je nejnovější zdravotní technika dnešní doby, která se uplatňuje v mnoha oborech moderní medicíny. K léčbě využívá elektromagnetického záření, především v oblasti viditelného, ultrafialového a infračerveného spektra. Bakalářská práce přibližuje účinky světelné energie na lidský organismus, popisuje nejvhodnější zdroje záření a metody fototerapie. Dále poukazuje na využití fototerapie v neonatologii k léčbě novorozenecké žloutenky.

Klíčová slova

Fototerapie, elektromagnetické záření, fotonové lampy, LED, laser, novorozenecká žloutenka, hyperbilirubinémie, spektrum.

Abstract

The topic of this bachelor work is the latest medical technology of today, which is used in many fields of modern medicine. The therapy uses electromagnetic radiation, especially in the visible, ultraviolet and infrared spectrum. Bachelor work explains the effects of light energy on the human body, describes methods and the best sources of radiation phototherapy. Further adverts to use phototherapy in neonatology for the treatment of neonatal jaundice.

Key words

Phototherapy, electromagnetic radiation, photon lights, LED, laser, neonatal jaundice, hyperbilirubinemia, spectrum.

Obsah

Úvod.....	1
1 Fotonická medicína	2
2 Světelný paprsek a živočišná tkáň.....	3
2.1. Spektrum elektromagnetického záření.....	3
2.1.1 Fyzikální vlastnosti světla	3
2.1.2 Šíření světla.....	4
2.1.2.1 Odraz a lom.....	4
2.1.2.2 Disperze.....	5
2.1.2.3 Interference světla	5
2.1.2.4 Difrakce.....	5
2.2 Optické záření	5
2.2.1 Infračervené záření.....	5
2.2.2 Viditelné světlo	6
2.2.3 Ultrafialové záření.....	6
2.3 Buňka jako biofyzikální systém	7
2.3.1 Obecná struktura buňky	7
2.3.2 Základní funkce buňky.....	8
2.3.2.1 Buněčný pohyb.....	9
2.3.2.2 Transportní organismy	9
2.4 Biologické účinky světelné energie.....	9
2.4.1 Analgetické účinky.....	10
2.4.2 Protizánětlivé účinky.....	10
2.4.3 Biostimulační účinky.....	10
2.5 Účinky infračerveného záření	10
2.6 Účinky vybraných vlnových délek z viditelného záření	11
2.7 Účinky ultrafialového záření.....	11
2.8 Účinky laserového záření	12
3 Biostimulace – technický princip a metody fototerapie.....	13
3.1. Polarizované světlo	13
3.1.1 Fototerapie laserem	13
3.1.2 Fototerapie pomocí fotonových lamp.....	14
3.1.2.1 Fotonové lampy na bázi halogenových výbojek	14
3.1.2.2 Fotonové lampy na bázi LED.....	15
3.2 Nepolarizované světlo.....	16
3.2.1 UV lampy	16

3.2.2	Infra lampy	16
4	Technické prostředky bioterapie a jejich normy	18
4.1	Zdroje záření	18
4.1.1	Tepelné zdroje	18
4.1.2	Výbojkové zdroje	18
4.1.3	Polovodičové zdroje	19
4.1.3.1	LED (Light emitting diode)	19
4.1.3.2	LD (Laser diod)	20
4.1.4	Lasery	20
4.2	Ochrana zdraví před neionizujícím zářením	21
4.2.1	Vymezení základních pojmů	21
4.2.2	Klasifikace laserů do tříd	21
4.2.2.1	Třída I	22
4.2.2.2	Třída II	22
4.2.2.3	Třída III. a	22
4.2.2.5	Třída III. b	22
4.2.2.4	Třída IV	23
4.2.3	Technická dokumentace	23
5	Aplikační bezpečnost – provozní měření	24
5.1	Závislost intenzity osvětlení na pulsní šířkové modulaci	24
5.1.1	Zapojení měřicího řetězce	24
5.1.2	Použité vybavení	25
5.1.3	Měření intenzity osvětlení	25
5.1.4	Závěr	26
6	Zhodnocení fototerapie z hlediska účinnosti technických prostředků ve vybraném lékařském oboru	27
6.1	Fototerapie v neonatologii	27
6.1.1	Novorozenecká žloutenka	27
6.1.2	Hyperbilirubinémie	27
6.1.2.1	Fyziologická hyperbilirubinémie	27
6.1.2.2	Patologická hyperbilirubinémie	28
6.2	Účinnost fototerapie v neonatologii	29
6.2.1	Počáteční sérové koncentrace bilirubinu	29
6.2.2	Povrch těla vystavený světlu	29
6.2.3	Vzdálenost mezi zdrojem světla a pacientem	29
6.2.4	Ozáření	30

6.2.5 Typ hyperbilirubinémie	30
6.2.6 Druh světla používaný ve fototerapii	30
6.3 Druhy fototerapie v neonatologii	30
6.4 Technické prostředky používané v neonatologii.....	31
6.4.1 Inkubátory a výhřevná lůžka	31
6.4.2 Fototerapeutické zářiče v neonatologii.....	32
Závěr	33
Literatura	34
Seznam příloh.....	36

Úvod

Cílem bakalářské práce je seznámit se s problematikou fototerapie neboli léčbou světlem. Jedná se o nejnovější léčebnou metodu, která využívá účinky energie fotonů a v současnosti nachází široké uplatnění v celé řadě lékařských oborů. Světelná energie je pohlcována tkání až do hloubky několika centimetrů, kde v buňkách vyvolává fotochemické změny. Důležitým faktorem účinnosti fototerapie je zdroj použitého záření. V práci budou popsány a porovnány zdroje tepelné, výbojkové, polovodičové a laserové.

Práce byla rozdělena do šesti kapitol. První kapitola je pojmenována Fotonická medicína, kde bude popsána fototerapie z obecného hlediska. Druhá kapitola se nazývá Světelný paprsek a živočišná tkáň, kde bude definováno elektromagnetické záření a popsány fyzikální vlastnosti světla. V této kapitole budou také řešeny funkce buňky a popsány biologické účinky světelné energie. Třetí kapitola je pojmenována Biostimulace – technický princip a metody fototerapie, kde bude řešen především vliv polarizovaného a nepolarizovaného světla na lidský organismus. Čtvrtá kapitola je věnována Technickým prostředkům fototerapie a jejich normám. V této kapitole budou popsány zdroje záření a jejich účinnost a budou zde rozděleny fototerapeutické prostředky do tříd z důvodu ochrany před neionizujícím zářením. Následující kapitola se nazývá Aplikační bezpečnost – provozní měření, kde bude realizováno měření závislosti intenzity osvětlení na pulsní šířkové modulaci, výsledky budou vyhodnoceny do grafu. Poslední kapitolou je Zhodnocení fototerapie z hlediska účinnosti fototerapeutických prostředků ve vybraném lékařském oboru. Tento bod bude zaměřen na fototerapii v neonatologii, pomocí které se léčí novorozenecká žloutenka.

1 Fotonická medicína

Fotonická medicína je moderní léčebná metoda, která využívá nejpřirozenější zdroj energie – světlo. Přestože se s ním neustále setkáváme, tak se o jeho fyzikální podstatě dlouho nic nevědělo. Až v 17. století poznávání světla vedlo k představám o jeho korpuskulární povaze. V roce 1648 Jan Marek Marků zjistil, že bílé světlo je světlem složeným a vysvětlil podstatu duhy. Max Flank poté přichází s hypotézou, že světlo je tvořeno malými částčkami energie, tzv. kvanty a teprve nyní se dá mluvit o dualitě vln a částic.

Využívání světla ve vědecké medicíně zaznamenáváme teprve v minulém století. Rozvoj lázeňství, budování známých přímořských letovisek a rozvoj lázeňských míst ve vysokohorském prostředí umožnil lékařům doporučovat nemocným dlouhodobé pobyty na horském vzduchu spojené se sluněním jako léčebnou metodou (helioterapie, klimatoterapie). Dnes využíváme helioterapii především jako prevenci.

Závislost světloléčby na meteorologických podmínkách vedla k rozvoji umělých zdrojů světla. Jejich vývoj umožnil hlubší studium účinků světelného záření na živou buňku a prokázal závislost mezi vlnovou délkou světelných paprsků a odpovědi organismu. Zatímco monochromatické světlo působí na růst buněk stimulačně, některé naopak jejich růst inhibují. Inhibičně působí paprsky o vlnové délce kratší než 550 nm a delší než 900 nm a stimulačně v rozmezí od 550 do 900 nm.

Léčebné osvětlování je prováděno nejen přirozeným a umělým světlem, které je viditelné, ale také použitím sousedních elektromagnetických záření. Nesmíme však opomíjet zátěž organismu způsobenou tepelným zářením. Tato tepelná složka může organismus poškodit hypertermií. Při léčbě je třeba nemocného zatěžovat postupně, a to jak délkou ozařování, tak i velikosti ozařované plochy.

Moderní fototerapie využívá elektromagnetického záření různých vlnových délek, liší se účinky na živý organismus. Zatímco některé z nich se používají již desítky let (např. infračervené světlo), jiné využívá medicína teprve v posledních letech. Zde se jedná zejména o zdroje polarizovaného světla a lasery, jejichž záření má analgetický, protizánětlivý a stimulační efekt. Laser je však léčebný paprsek, kterým lze, pokud jej aplikuje laik, i ublížit. Je proto nežádoucí, aby byl využíván širokou veřejností. Každý nemá možnost navštěvovat pracoviště vybavené laserem, a proto byly zkonstruovány fotonové lampy. Tím je možnost poškození ozařované tkáně minimální a může s ní po zaškolení pracovat i laik. Výhodou využití této léčby je minimum vedlejších účinků.

Světloléčba je součástí fyzikální terapie, při které se využívá energie fotonů – částic elektromagnetického záření nejen pro terapii, ale také kvůli prevenci chorob. [1],[2],[3],[8]



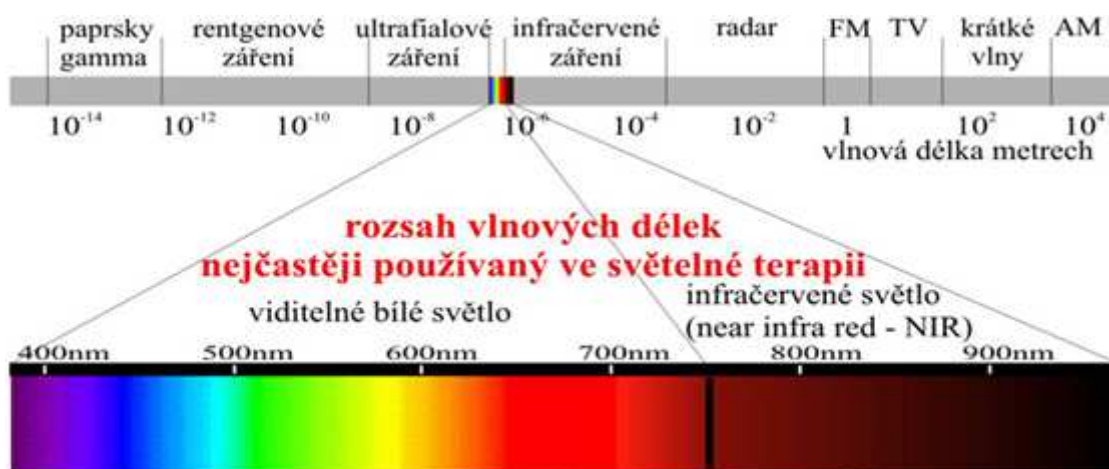
Obr. 1 Hlavičky bioptronové lampy - Photon Beauty [8]

2 Světelný paprsek a živočišná tkáň

2.1. Spektrum elektromagnetického záření

V 19. Století vytvořil J. C. Maxwell teorii, že elektromagnetické záření (tedy i světlo) je elektromagnetické vlnění, které je tvořeno elektrickým a magnetickým polem. Časová změna elektrického pole vyvolává časově proměnné magnetické pole, které v následujícím čase vede ke vzniku časově proměnného elektrického pole. Proces se neustále opakuje a vede k šíření elektromagnetického vlnění.

Maxwellova elektromagnetická teorie popisuje světlo jako příčné elektromagnetické vlnění, které se liší od ostatních druhů elektromagnetického vlnění frekvencí a tím i vlnovou délkou. [4]



Obr. 2 Spektrum elektromagnetického záření [6]

2.1.1 Fyzikální vlastnosti světla

Fyzikální vlastnosti světla mají rozhodující vliv na jeho biologické působení a léčebnou účinnost.

Vlnová délka určuje polohu záření v radiálním elektromagnetickém spektru a má vliv na poměr mezi dopadající a odraženou energií, na lom a rozptyl světla a jeho absorpci ve tkáni. Vlnovou délku vyjadřujeme v nanometrech nebo mikrometrech.

Energie je zpravidla uváděná v elektrovoltech (eV), což je energie, kterou získá elektron, který proletěl spádem elektrického pole jednoho voltu ve směru pole. Na energii fotonu jsou závislé kvantové účinky fotochemické a fotobiologické.

Vlnová délka (nm)	Energie fotonu (eV)
180	6,889
315	3,94
500	2,482
760	1,635
1000	1,241
3000	0,414
7000	0,177

Tab. 1 Energie fotonů pro některé vlnové délky [2]

Intenzita dopadajícího záření je dána množstvím energie na jednotku plochy kolmo ke směru paprsku. Měří se ve wattech na cm^2 .

Dopadající dávka záření je dána součinem intenzity a ozařovací doby a má rozměr energie (joule, J).

Absorbovaná dávka záření je vyjádřena rozdílem mezi energií, která na určitou vrstvu dopadá a energií, která na druhé straně z tkáně vystupuje.

Absorpční schopnost tkáně závisí na složité anatomické stavbě struktury a vyjadřuje se existenčním koeficientem – převratnou hodnotou tloušťky vrstvy, která zeslabí světlo na jednu desetinu původní intenzity. Nebo také polopropustnou vrstvou – tloušťkou tkáně, která zeslabí záření na jednu polovinu.

Z hlediska absorpce rozeznáváme tkáně:

- dokonale černé, které pohlcují všechno dopadající záření
- dokonale zrcadlí, které všechno dopadající záření odrážejí
- průhledné, které ani neodrážejí ani neabsorbují záření a záření jimi prochází
- šedé, které záření všech dopadajících vlnových délek absorbují a odrážejí stejný kvantitativní podíl
- barevné, které z dopadajícího záření odrážejí nebo absorbují jen určité vlnové délky [2]

2.1.2 Šíření světla

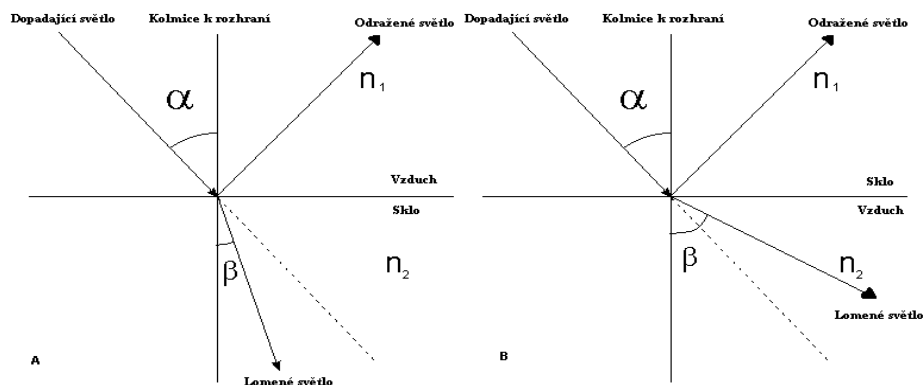
Světlo se ze světelného zdroje šíří ve vlnoplochách. Podle Huygense (holandský fyzik a matematik) je každý bod této vlnoplochy zdrojem elementárního vlnění. Přímka kolmá na vlnoplochu udává směr, kterým se světlo šíří a nazývá se světelný paprsek. [3]

2.1.2.1 Odraz a lom

Situace, kdy světlo při svém šíření dopadá na rozhraní dvou různých prostředí, v nichž má světlo fázové rychlosti v_1 a v_2 ($v_1 > v_2$), nastává odraz (reflexe) a lom (refrakce) světla. Podle zákona odrazu je úhel odrazu roven úhlu dopadu a odražený paprsek zůstává v rovině dopadu.

Podle Snellova zákona lomu světla je poměr sinu úhlu dopadu (α) k sinu úhlu lomu (β) pro dvě daná optická prostředí veličina stálá a rovná se převrácenému poměru indexů lomu obou prostředí (n_1 a n_2). Při srovnávání dvou prostředí nazýváme prostředí s vyšším indexem lomu opticky hustší a s nižším indexem lomu opticky řidší.

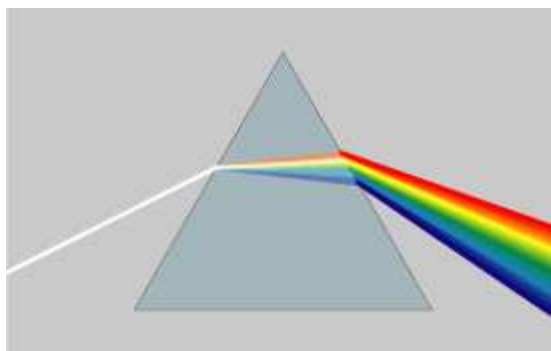
Podle zákona lomu nastává při šíření světla z prostředí opticky řidšího do prostředí opticky hustšího lom ke kolmici ($\beta < \alpha$). Při šíření světla z opticky hustšího prostředí do opticky řidšího nastává lom od kolmice ($\beta > \alpha$). [3],[10]



Obr. 3 A - Lom ke kolmici, B - Lom od kolmice [3]

2.1.2.2 Disperze

Disperze světla nastává, není-li fázová rychlost světla v prostředí, kde $n > 1$ konstantní, je závislá na frekvenci. Umožňuje rozložit bílé světlo, v němž jsou zastoupená světelná záření všech frekvencí na monochromatická světla, kde všechny svazky paprsků mají stejnou vlnovou délku a tím i stejnou frekvenci a stejné množství energie. K rozkladu světla se používají optické hranoly, pomocí kterých se bílé světlo při lomu rozloží na barevné složky (červenou s nejmenším indexem lomu, oranžovou, žlutou, zelenou, modrou a fialovou s největším indexem lomu). Používá se jako monochromátor ve spektrálních přístrojích. [3]



Obr. 4 Hranolové spektrum [3]

2.1.2.3 Interference světla

Výrazným projevem vlnových vlastností světla, zejména světla monochromatického, je interference světla (skládání vlnění). Jev spočívá ve skládání různých příspěvků vlnění v daném místě. Projevem interference je vznik interferenční struktury. Pro pozorování interference je důležitá koherence světla, kdy světlo z různých zdrojů má v daném místě stejnou fázi, která se s časem nemění.

2.1.2.4 Difrakce

Dalším významným projevem vlnových vlastností světla je ohyb světla (difrakce). V důsledku difrakce se světlo nešíří přímočaře, ale i do oblasti geometrického stínu, vzniklého za překážkami. [3]

2.2 Optické záření

Významnou složkou spektra elektromagnetického záření je viditelná oblast, jejímiž vlastnostmi se zabývá optika.

Optické záření zahrnuje rozsah frekvencí přibližně od 7×10^{11} Hz do 3×10^{16} Hz. Odpovídající vlnové délky jsou pro vakuum od 4×10^{-4} m do 10^{-8} m. [3]

2.2.1 Infračervené záření

Infračervené záření je část světelného spektra vyzařovaného sluncem. Není viditelné lidským zrakem, ale člověk ho může cítit v podobě tepla, působícího na kůži. Je to podoba energie, která zahřívá předměty přímo, bez toho, aby mezitím byl ohříván vzduch. Je to neviditelné spektrum červené barvy a proniká do hloubky 30 – 40 mm.

Jedná se o dlouhovlnnou část optického spektra, která hraničí na jedné straně s nejdelšími vlnovými délkami a na druhé straně navazuje přechodným pásmem na oblast mikrovln a rádiových elektromagnetických vln používaných v rozhlasovém a televizním vysílání.

Vzniká vibrací a rotací atomů a molekul v každé látce, je-li její teplota vyšší než absolutní nula. Vlastnosti tohoto záření závisí do značné míry na jeho energii, a proto se dělí do tří pásem.

- Krátkovlnné pásmo (blízké, IR-A) – zahrnuje vlnové délky 760 – 1400 nm. Je obsaženo ve slunečním světle, je to záření pronikavé, které se jen málo pohlcuje ve vodě. Od kožního povrchu se odráží 20 - 40 %. Část proniká až do podkoží.
- Střední pásmo (IR-B) – s vlnovými délkami od 1400 nm do 3000 nm. Zdrojem jsou různé typy žárovek, zářivek a výbojek. Proniká sklem a téměř úplně se absorbuje ve vodě a od kožního povrchu se odráží 10 – 20 %.
- Dlouhovlnné pásmo (vzdálené, IR-C) – jehož vlnové délky přesahují 3000 nm, zdrojem jsou různá topná tělesa a pohlcuje se vodou i sklem. Od kožního povrchu se odráží 2 – 3 %. [5],[8]

2.2.2 Viditelné světlo

Leží v intervalu vlnových délek 800 nm – 390 nm, kde každá vlnová délka vyvolává různý zrakový vjem, barvu světla. Nejkratší vlnová délka odpovídá fialové barvě a nejdelší červené barvě. Jejich směr pak dává světlo bílé.

Lidská pokožka odráží až 50 % viditelného světla, přičemž 5 – 20 % tohoto světla dosahuje podkožní tkáně. Stupeň reflexu závisí na množství kožního pigmentu. Silně pigmentová kůže odráží asi 15 % a pohlcuje 85 % dopadajícího světla, zatímco bledá pokožka má odrazit 35 – 50 %. Viditelné světlo, zejména jeho červená složka, proniká do značné hloubky a to 20 – 25 nm.

Červená a oranžová oblast viditelného světla působí na nervový systém dráždivě, jeho modrá a fialová oblast má tlumivý, sedativní až depresivní účinek a podporuje oxidaci buněk a dýchání tkání. Známý je euforický účinek jasného slunečního dne a depresivní vliv působení cyklonálního počasí se zataženou oblohou a omezenou viditelností.

Toto světlo dělíme hlavně podle barev, kterým odpovídají přibližně tyto vlnové délky:

- červená.....760 – 660 nm
- oranžová..... 660 – 590 nm
- žluta..... 590 – 530 nm
- zelená..... 530 – 490 nm
- modrá..... 490 – 440 nm
- fialová..... 440 – 400 nm

Zdroje, které vysílají barevné světlo, jsou monochromatické jen ve viditelné části spektra a přitom mohou vyzařovat i další široká spektra v oblastech neviditelného záření. [2],[5]

2.2.3 Ultrafialové záření

Je důležitou složkou slunečního záření. I když energie připadající na ultrafialovou složku slunečního spektra je v porovnání s energií jeho viditelné a infračervené části malá, ultrafialové záření má značnou biologickou a fotochemickou aktivitu.

Ultrafialové záření začíná hranicí vnímání oka na fialovou barvu a přechodným pásmem končí v oblasti rentgenového záření. Podle biologických účinků se ultrafialové záření dělí na tři oblasti:

- dlouhovlnné (UV – A) - s vlnovými délkami 400 – 315 nm
- středovlnné (UV – B) - s vlnovými délkami 315 – 280 nm
- krátkovlnné (UV – C) - s vlnovými délkami kratšími než 280 nm

Na zemský povrch dopadá ultrafialové záření s vlnovými délkami 280 – 400 nm ve formě přímého a rozptýleného (difuzního) záření. Obě tyto složky tvoří globální ultrafialové záření.

Difuzní záření je z biologického hlediska zajímavé tím, že proniká i do oblasti optických stínů objektů, což umožňuje získat určitou dávku ultrafialového záření i při zastínění přímého slunečního záření.

Baktericidní účinky ultrafialového záření využívají germicidní lampy, což jsou v podstatě zářivky z křemenného skla (propustného pro UV záření), neobsahující na stěně vrstvu luminoforu, který pohlcuje UV záření a září v oblasti viditelného světla (jak je tomu u normálních zářivek). [5],[8]

2.3 Buňka jako biofyzikální systém

Buňka je nejmenší jednotkou živých systémů, která je schopná samostatné existence a vykazuje všechny základní znaky života. U mnohobuněčných organismů se buňky stejného druhu sdružují a vytvářejí tkáně a orgány určené pro výkon specifických funkcí. Některé mnohobuněčné organismy naopak mohou být rozděleny na menší části nebo až na jednotlivé buňky, které mají schopnost regenerovat a vytvořit celistvý organismus. Naproti tomu při rozdělení buňky na podbuněčné části nejsou tyto části schopny regenerace. Buňku je proto možné považovat za individuum – základní strukturní jednotku.

Podle vnitřní struktury rozlišujeme buňky prokaryotní a eukaryotní. Struktura buněk prokaryotů je jednodušší, zatímco buňky eukaryotní vykazují mnohem složitější strukturu charakterizovanou buněčnými organelami. Patří zde všechny vyšší druhy rostlinných a živočišných buněk.

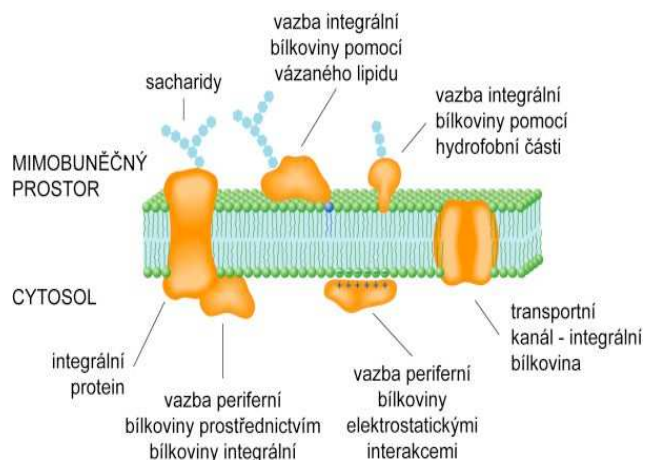
Oba typy eukaryotních buněk (rostlinných i živočišných) vykazují řadu společných znaků. Buněčné nitro je od okolí odděleno plazmatickou membránou, všechny buňky obsahují jádro a celou řadu specifických cytoplazmatických struktur jednoduchých (ribozomy, lizozomy) i složitějších, jako je endoplazmatické retikulum, Golgiho komplex. [7]

2.3.1 Obecná struktura buňky

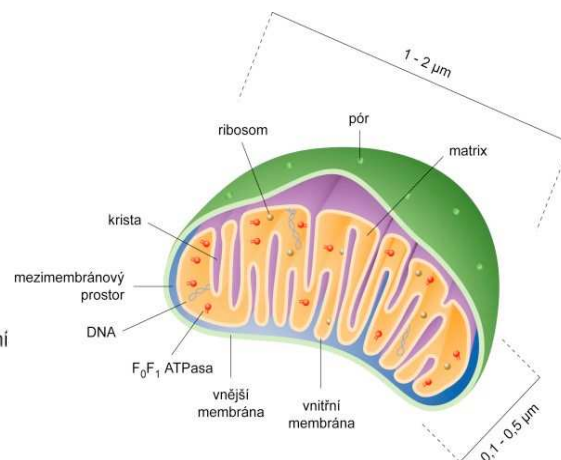
Buněčná membrána hraje velmi významnou roli v životě buňky. Jednak odděluje cytoplazmu buňky od okolního prostředí, jednak zajišťuje výměnu látek, energie i informace mezi nitrem buňky a okolím. Součástí membrán jsou i některé enzymové systémy podílející se na metabolismu. Nejdůležitější z nich jsou ty, které zajišťují syntézu ATP (adenosintrifosfát) v procesu membránové fosforylace. Buněčná membrána je tvořena lipidovou dvojvrstvou, do níž jsou začleněny membránové proteiny.

Cytoplazma se skládá z vody, anorganických látek (nejvíce zastoupené a pro život buňky velice důležité jsou uhlík, vodík, kyslík, dusík, síra a fosfor), organických sloučenin a biopolymerů, kde voda tvoří její hlavní složku (70 – 90 %). Mezi optické vlastnosti cytoplazmy patří dobrá propustnost pro viditelné světlo, které nevykazuje žádnou specifickou absorpci a jeví se proto jako bezbarvé. Specifickou absorpci a zbarvení vykazuje jen tehdy, obsahuje-li pigmenty nebo chromofory. Neobsahuje-li vláknité struktury vykazující dvojlom, je i v polarizovaném světle cytoplazma izotropní.

Index lomu závisí na stupni hydratace, proto není ve všech místech buňky stejný. Jeho průměrná hodnota kolísá v rozmezí 1,38 – 1,44.



Obr. 5 Buněčná membrána [12]



Obr. 6 Schéma mitochondrie[12]

Buněčné jádro je základní organelou, nezbytnou pro život buňky, jehož součástí je další strukturní jednotka – jádérko (nukleus). Jádro je obklopeno dvojitou membránou, vnitřní část jádra je tvořena chromozomy, ve kterých jsou obsaženy deoxyribonukleové kyseliny (DNA) jako genetické informace spolu s proteiny.

Mitochondrie jsou součástí všech eukaryotních buněk a většinou se vyskytují ve větším počtu. Jsou energetickými stanicemi buňky, místem citrátového cyklu, respiračního řetězce a oxidační fosforylace a také místem degradace mastných kyselin. Mitochondrie produkují většinu buněčného ATP, tj. většinu konvertibilní energie. Velikost i tvar kolísají u různých typů buněk. Mohou být kulovité, elipsovité i značně protáhlé. Jsou to membránové struktury a obsahují četné enzymy nutné k biochemickým a biofyzikálním reakcím. [7],[12]

2.3.2 Základní funkce buňky

Buňka představuje z termodynamického hlediska otevřený systém, v němž dochází k trvalé výměně látek, energie a informace s okolím. Plazmatická membrána umožňuje svými vlastnostmi dosažení vyšší koncentrace některých látek uvnitř buňky a jejich metabolickou transformaci bez interference okolního prostředí. Některé živé organismy mají schopnost přijímat sluneční energii a jednoduché anorganické sloučeniny a ionty a přeměňovat je ve složitější organické molekuly s vysokou energií. Jiné toto nedovedou a jsou schopny využívat jen chemické formy energie. Podle příjmu energie a jejího zužitkování lze dělit živé organismy podle několika hledisek.

Podle příjmu a využití uhlíku dělíme na autotrofní organismy, které dovedou přijímat uhlík jedinečně v podobě CO_2 a syntetizovat složitější organické látky a heterotrofní organismy, které dovedou využít uhlík jen v komplexní organické formě. Heterotrofní organismy dále dělíme podle konečného počtu akceptorů elektronů na aerobní (konečným akceptorem je kyslík) a anaerobní (u níž je akceptorem složitější molekula).

Podle zdroje využitelné energie na fototrofní organismy, pro které je hlavním zdrojem světelná energie sluneční a chemotrofní organismy, které dovedou využít jen energii uvolňovanou oxidoredukčními pochody. [7]

2.3.2.1 Buněčný pohyb

Buněčný pohyb je možno chápat jednak jako vlastní pohyb buňky prostředím, v němž žije, jednak jako pohyb tohoto prostředí kolem buňky, za předpokladu, že je vyvolán činností buňky. Základem všech buněčných pohybů je existence tzv. hybných molekul, které při interakci s cytoskeletálními strukturami vytvářejí pohyby na molekulové úrovni.

Existují tři základní typy buněčného pohybu. První je vázán na interakci mikrofilament s molekulami myosinového typu. Typickým představitelem tohoto pohybu je svalová buňka a jeho projevem je její zkrácení. Druhý typ buněčného pohybu je vázán na mikrotubuly. Patří zde intracelulární pohyb látek, kde mechanická energie nutná k tomuto pohybu se získává z ATP prostřednictvím hybných molekul a pohyb některých eukaryotních buněk pomocí řasinek a bičků. Třetí typ buněčného pohybu se vyskytuje u prokaryotů a je znám jako bakteriální bičíková rotace. [7]

2.3.2.2 Transportní organismy

Transport látek uvnitř buněk i mezi buňkami, ať již probíhá volně či usměrněně, je základem všech metabolických pochodů. Podle směru přenosu látek i jeho energetické náročnosti rozlišujeme dva základní typy transportu.

Pasivní transport je v izolovaném systému charakterizován tokem látek v důsledku jejich nehomogenního prostorového rozložení. Jeho základními mechanismy jsou difuze (nerovnoměrný termodynamický proces) a osmóza (přenos molekul rozpouštědla přes polopropustnou membránu).

Aktivní transport je definován jako přenos molekul a iontů ve směru elektrochemického gradientu. Tento proces se uskutečňuje na úkor energie metabolických procesů v membráně. Pro sodné a draselné ionty se aktivní transport uskutečňuje mechanismem sodíko - draslíkové pumpy. Tato je v podobě enzymového komplexu uložena v buněčné membráně a potřebnou energii získává štěpením ATP pomocí enzymů. Rozštěpením jednoho molu ATP na ADP (adenosindifosfát) se uvolní energie 33,5 kJ. [7]

2.4 Biologické účinky světelné energie

Vlnová délka aplikovaného paprsku hraje nezanedbatelnou úlohu na biologické tkáni. Nejedná se pouze o průchodnost paprsku tkáni, ale i jeho vliv na intracelulární metabolismus. Byla prokázána klíčová role mitochondrií, které jsou citlivé na ozařování monochromatickým světlem viditelného pásma a pásma blízkého infračerveného záření ve smyslu zvýšení syntézy ATP a spotřeby kyslíku. Tento efekt je velmi výrazný pro celkovou schopnost regenerace a reparace tělesných buněk. Světlo má dva základní regulační směry. Prvním je existence propojení mezi redukčními funkcemi mitochondrií aktivovaných světlem, změnami v redukčním stavu cytoplazmy, depolarizací buněčné membrány a vzestupem intracelulárního pH (alkalizace cytoplazmy). Druhým je kontrola hladiny intracelulárního ATP, kde i malé změny v množství ATP mohou významně narušit buněčný metabolismus.

Změny zaznamenáváme také na extracelulární úrovni, kde se především jedná o účinky záření na fibroblasty a kolagen při hojení ran. Záření aktivuje fibroblasty a v prvním týdnu ovlivní hojení rány zvýšeným počtem. V dalších fázích hojení i při menším počtu fibroblastů jsou synteticky výkonnější. Jedná se tedy o vhodný prostředek napomáhající k náhradě vaziva při zhoršeném hojivém procesu. Tvorba kolagenu je po ozařování odlišná v závislosti na stádiu hojení rány. Časté ozařování v prvním týdnu stimuluje zánětlivý kolagen, pozdní ozařování ve třetím týdnu hojení neaktivuje zánětlivou reakci, ale zvyšuje syntézu a zlepšuje depozici kolagenu.

Mohou se ovšem vyskytovat také inhibiční a dokonce letální účinky na různé typy buněk. Nízká hodnota hustoty energie stimuluje růst buněk a naopak vysoká ho brzdí.

Obecně jsou dnes uváděny tři hlavní efekty při působení světelné energie. Jedná se o biostimulační, analgetické a protizánětlivé efekty. [11]

2.4.1 Analgetické účinky

Souvisí se změnou buněčného metabolismu v ozařovaném místě. Dochází zde ke zvýšení parciálního tlaku kyslíku a ke změnám v polarizaci membrán. To má za následek zvýšení klidového potenciálu membrány a tím se sníží její dráždivost. Snížením citlivosti nervových zakončení dochází k potlačení bolesti a svědění. [7]

2.4.2 Protizánětlivé účinky

Mají imunologickou podstatu, jejímiž důsledky jsou aktivace monocytů a makrofágů, zvýšená fagocytóza a urychlená proliferace lymfocytů. V postižené tkáni zánětem dochází k aktivaci všech přirozených procesů, které se podílejí na likvidaci a snížení koncentrace mediátorů zánětu. [7]

2.4.3 Biostimulační účinky

Projevují se zvýšenou syntézou kolagenu, zvýšeným prokrvením a zrychlenou regenerací některých tkání. Mimo uvedených účinků lze prokázat v menší míře také účinek baktericidní, antiedematosní a vasodilatační. Nelze ovšem zcela vyloučit, že některé z pozorovaných příznivých účinků jsou spíše povahy psychologické (placebové), zejména s ohledem na nízké aplikované energie světla při průchodu tkáni. [7]

2.5 Účinky infračerveného záření

Velká vlnová délka a malá energie fotonů vyvolává po absorpci ve tkáních pouze tepelný účinek. Krátkovlnné pásmo infračerveného záření se využívá terapeuticky, střední a dlouhovlnné pásmo je vhodné k ohřívání, vzhledem k absorpci v nejpovrchnějších vrstvách kůže. Účinky se váží na reflexy a reakce, které se v průběhu vývoje člověka spojily s tepelnými podněty přírodních zdrojů (slunce, oheň, voda).

Průnik infračerveného záření a jeho účinky na organismus závisí na vlnové délce, kterou můžeme ovlivnit použitím červeného nebo modrého filtru. Červený filtr ruší záření s větší vlnovou délkou, účinek je převážně hluboký, vlnová délka spektrálního maxima je kolem 1100 nm. Modrý filtr ruší krátkovlnnou část infračerveného spektra, účinek je povrchový, vlnová délka spektrálního maxima se pohybuje kolem 2000 nm.

Většina dopadajícího infračerveného záření je pohlcována pokožkou, v horních vrstvách kůže a tkáních je absorbováno vodou a v hlubších částích především cévním systémem a oxyhemoglobinem. Dochází tak k místní vazodilataci a tvorbě tepelného erytému, který krátce po ozáření vymizí. Erytém není ohraničen jen na plochu ozáření, ale šíří se axonovými reflexy do okolí, dostavuje se rychle, ještě v průběhu ozařování. Má skvrnitý charakter a od erytému vyvolaného UV zářením se liší krátkou dobou trvání a velmi malou pigmentací. Ozáření infračerveným zářením však zvyšuje citlivost kůže k účinku ultrafialového záření. Navíc dlouhodobý pobyt v prostředí o zvýšené teplotě může vést ke změnám aktivity řady enzymových systémů. Může poškodit oko, v pásmu 760 – 2500 nm jsou tzv. penetrující paprsky, které procházejí okem a jsou absorbovány duhovkou, čočkou a

sítnicí. Profesionálním onemocněním foukačů skla, slévačů a tavičů je žárovková katarakta (šedý zákal čočky).

Má analgetické a spasmolytické účinky, které jsou dány jednak důsledkem přímého působení zvýšené teploty, jednak působením na kožní receptory, které vyvolávají reflexní účinky. Využívá se v rehabilitaci k odstranění bolesti kloubů při artrózách, bolestí při páteřních syndromech, při neuralgiích. Příznivě ovlivňuje rychlost absorpce exudátu u zánětlivých procesů (např. u sinusitid, zánětů kůže a podkoží). Někdy je využíváno reflexních účinků k uvolnění spazmů při kolikách (ledvinových, žlučníkových).

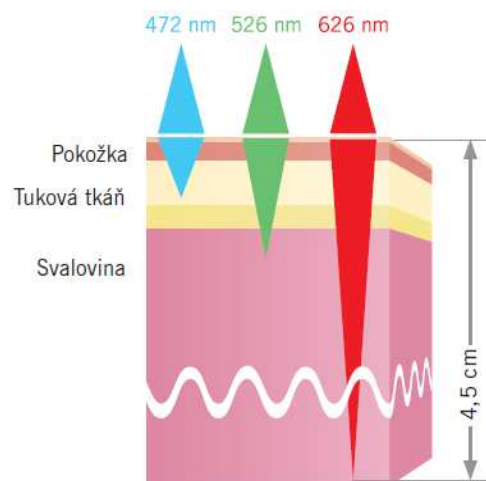
Pozitivně působí na tvorbu zásoby bílýchrvinek, zvyšuje růst buněk, slučování DNA a proteinů v buňkách. Podporuje krevní oběh a tím působí proti tvorbě chronického revmatismu. Stimuluje metabolismus a podporuje odstraňování některých nebezpečných toxinů, které se shromažďují v buňkách. [3],[5],[7]

2.6 Účinky vybraných vlnových délek z viditelného záření

Nejdůležitější biologickou funkcí viditelného světla je jeho účast ve fotosyntéze. Autotrofní organismy mají schopnost transformovat energii slunečního záření na energii chemických vazeb. Ve skutečnosti se jedná o přeměnu látek s nízkým obsahem chemicky vázané energie na látky energeticky bohaté.

Psychosomatické vlivy jsou závislé na intenzitě a kvalitě světla, známý je i vliv barev na psychiku a vnímání okolí.

Biologický účinek je závislý na absorpci vzážené energie do lidského organismu. Jen neodražená, kůží absorbovaná část světelného záření může rozvíjet dále účinky světla ve tkáni.



Obr. 7 Hloubka průniku světla [12]

Červená oblast se blíží svými účinky k infračervenému. Tato barva aktivuje celý organismus, zvyšuje jeho vitalitu a dynamizuje jej.

Modrá oblast naopak uklidňuje, brzdí, koncentruje, ochlazuje, snižuje hyperaktivitu a celý organismus psychicky vyrovnává. Ozařování modrým světlem vlnové délky 430 – 450 nm se osvědčilo při léčbě žloutenky novorozenců.

Žlutá oblast má organismus posilovat, harmonicky povzbuzovat, zvyšovat energii a uvolňovat svalovou ztuhlost.

Zelená oblast organismus vyrovnává, uvolňuje a uklidňuje. Udržuje tělesnou i psychickou energii v dynamické rovnováze, uvolňuje napjaté a bolestivé procesy a přináší klid.

Oranžová oblast stimuluje, udržuje tělesnou i psychickou energii v dynamické rovnováze, uvolňuje křečovitě a spastické stavy, oživuje a zahřívá.

Fialová oblast uklidňuje nervy, uvolňuje podráždění a mírní bolest. Psychicky inspiruje, celkový stav organismu však tlumí. [2],[3],[5],[7]

2.7 Účinky ultrafialového záření

Sluneční účinek záření na lidskou kůži, kde vyvolává erytém a pigmentaci, se přisuzuje především složce UV-B. Pásmo UV - A je výrazně chudší na energii, má slabý chemický účinek, má

však vyšší pronikavost a tím je terapeuticky cenné. Složka UV - C se absorbuje v horních vrstvách atmosféry, přičemž se tvoří ozon. Umělé záření UV - C, které se získává křemíkovými lampami nebo jinými zářiči, má baktericidní účinek.

Mezi příznivé účinky ultrafialového záření patří zvýšení obranyschopnosti organismu jako výsledek tvorby některých biologicky aktivních aminů. Antirachitická profylaxe, kde se použitím ultrafialového záření o vlnové délce 250 – 300 nm tvoří vitamín D₃. Denaturace, koagulace a vysrážení bílkovin se váže zejména na absorpci pásma UV – C, není tedy vyvolán teplem. Dalšími účinky jsou tvorba redukujících látek jako výsledek ozáření bílkovin, zvyšování svalové výkonnosti, což může být způsobeno zvýšenou syntézou glykogenu z kyseliny mléčné. Je znám přímý účinek ultrafialového světla na rychlou restituci krevního obrazu po anemiích, ztrátách krve, rekonvalescencích po různých těžkých chorobách. Po celkovém ozáření bylo prokázáno zvýšení žaludeční acidity.

Ultrafialové záření má také nepříznivé účinky na organismus, mezi které patří erytém (zčervenání kůže v místě popálení), pigmentace (ochranný prvek kůže proti poškození UV – A zářením), keratitida (zápal oční rohovky), katarakta (šedý zákal) a také karcinomy kůže (následky dlouhodobého působení velkých dávek).

Při dávkování ultrafialového záření je rozhodující prahová erytémová dávka. První ozáření by mělo trvat asi trojnásobek této dávky a postupně se doba trvání zvyšuje.

Mezi indikace ultrafialového záření patří kožní choroby, prevence rachitidy, snížená výkonnost a únavnost, anémie, vředové choroby, neuritidy a neuralgie a astma.

Mezi kontraindikace řadíme fotoalergie, porfyrie, akutní infekční nemoci. [7],[3]

2.8 Účinky laserového záření

Laserové záření patří sice svým spektrálním složením do oblasti optického spektra, vzhledem k specifčnosti jeho využití v lékařství však pojednáváme o jeho biologických účincích samostatně. V mechanismu biologického působení laserového záření lze rozlišit dva typy účinků.

Tepelné účinky závisí na výkonové hustotě laserového záření a na jeho vlnové délce. Jsou hlavním účinným mechanismem při chirurgických aplikacích laseru.

Netepelné účinky převažují u laseru s nízkým výkonem a jsou málo závislé na vlnové délce. Podstatu těchto účinků je třeba hledat na molekulové úrovni. Laserové záření působí především na dýchací řetězec buňky na úrovni mitochondrií. Dochází ke zvýšené replikaci mitochondriální DNA a ke zrychlení její syntézy. Laserové záření ovlivňuje též elektrický potenciál buněčných membrán a tím i selektivní propustnost pro určité ionty. Laserové záření o nízkém výkonu zvyšuje též aktivitu některých enzymů.

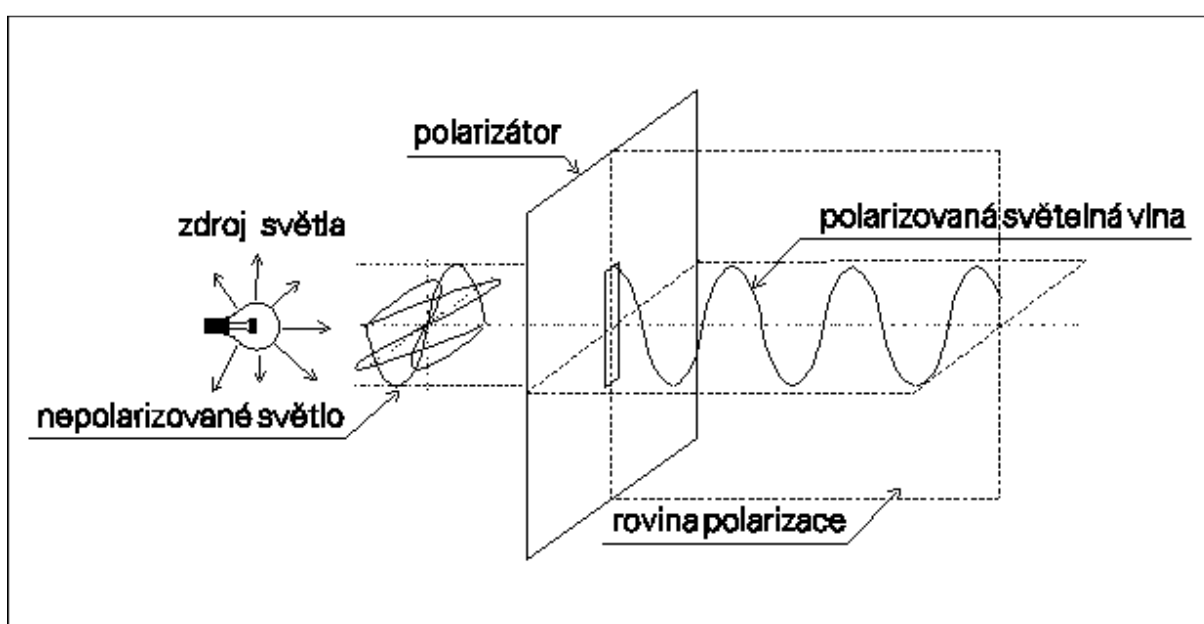
Je znám fotodynamický účinek laserového záření. Rozumí se jím změna chemické struktury látky po ozáření světlem určité vlnové délky. [7],[3]

3 Biostimulace – technický princip a metody fototerapie

Léčebných účinků světla využívá v současnosti celá řada medicínských oborů. Na počátku vývoje fotomedicíny se v moderní světelné terapii používalo převážně nepolarizované světlo v podobě UV a infra lamp. Moderní fototerapie však používá především polarizovaného světla, prostřednictvím různých druhů laserů a biolamp. Terapeutické využití polarizovaného světla má výrazně vyšší efektivitu a jeho užití je úspěšné ve všech oblastech medicíny. [13]

3.1. Polarizované světlo

Světlo, které kmitá pouze v jedné rovině. K polarizaci světla dochází odrazem, lomem nebo dvojlomem a získává se pomocí polarizátorů. [14]



Obr. 8 Mechanický model principu polarizace světla [5]

3.1.1 Fototerapie laserem

Lasery jsou moderní kvantové generátory světla pracující na principu stimulované emise záření. Atomy aktivní látky se dostávají do excitovaného stavu přechodem elektronů ze základní energetické hladiny na hladinu vyšší. K tomuto přechodu optického čerpání se využívá energie excitačního zařízení. Fotonem o energii rovné rozdílu energetických hladin se spustí lavinovitý návrat elektronů na základní hladinu, sledovaný stimulovanou emisí záření. Toto záření je koherentní (stejná fáze) a monochromatické (stejná vlnová délka). Optický rezonátor pak slouží k jeho zesílení.

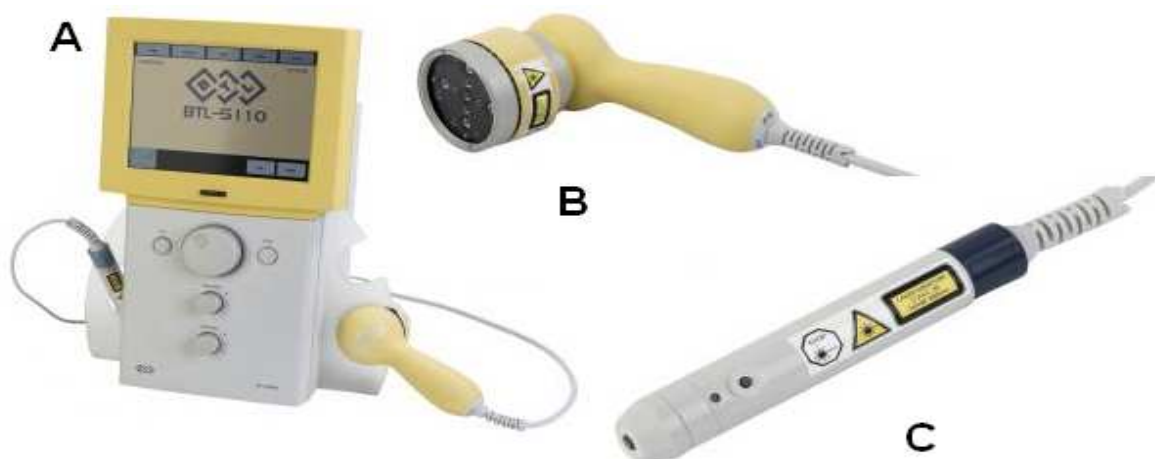
Podle světelného paprsku rozdělujeme lasery na neinvazivní a invazivní. Mezi neinvazivní patří především lasery terapeutické s výkonem do 500 mW a mezi invazivní řadíme lasery chirurgické s výkonem nad 1 W.

Chirurgické lasery se využívají k invazivním zákrokům v chirurgických oborech. Tyto vysokovýkonné lasery jsou po fyzikální stránce skupinou nehomogenní a mechanismus působení na živou tkáň je odlišný. V místě absorpce paprsku laseru dochází k nahromadění značného množství energie ve velice malé oblasti. Světelná energie se přeměňuje na energii tepelnou a mechanickou a může indikovat i chemickou reakci.

Terapeutické lasery pro neinvazivní fototerapii jsou dnes především polovodičovými lasery, které představují podskupinu pevných laserů. Jedná se o laserové diody malých rozměrů, které podle použitého polovodičového materiálu vyzařují záření o vlnových délkách v rozmezí 630 – 900 nm. O volbě vlnové délky rozhoduje účel terapeutického použití. Pro povrchové aplikace se volí lasery s kratší vlnovou délkou v oranžové a červené oblasti. Vyrábějí se v několika typech:

- laserové pera – nejjednodušší, jsou vybaveny laserovými diodami s kontinuálním provozem a napájeny z baterií, mají tvar většího plnicího pera a většinou pevně nastavený výkon, bez možnosti regulace
- malé lasery – s připojitelnou sondou, napájeny z akumulátorů, s možností volby několika modulačních frekvencí
- stolní lasery – napájené ze sítě, zpravidla obsahují větší množství ovládacích prvků a mají širší použití

Použití laserů je omezeno přísnými hygienickými a manipulačními podmínkami a k dalšímu omezení patří nemožnost plošného ošetření, vyplývající z fyzikální podstaty úzkého laserového paprsku. [3], [7]



Obr. 9 A – Terapeutický laser BLT – 5110, B – Kombinovaná (infračervená a červená) laserová sprcha, C – červená sonda [15]

3.1.2 Fototerapie pomocí fotonových lamp

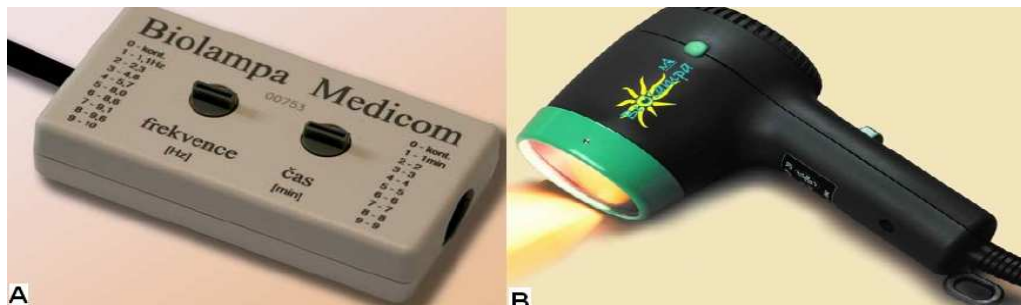
Fotonové lampy jsou zdrojem polarizovaného světla, toto záření neobsahuje ultrafialovou složku, aby byly vyloučeny i ty nejmenší eventuální škodlivé prvky a jejich spektrum zasahuje do blízké oblasti infračerveného záření. Tím jsou vyloučeny potencionální vedlejší negativní účinky při opakovaném a častějším použití. Biolampa generuje polarizované záření podobně jako ozařovací lasery, ale na rozdíl od monochromatického světla laseru vyzařuje světlo polychromatické, což znamená, že svítí v široké oblasti spektra. Spektrální vyzařovací průběh biostimulačního světla biolamp sahá od 430 nm přes viditelnou část spektra až k neviditelné blízké infračervené části. Do 2800 nm. Světlo působí jednak povrchově, ale také proniká do tkáně. Průnik pak závisí na použité vlnové délce. [5],[16],[17]

3.1.2.1 Fotonové lampy na bázi halogenových výbojek

Jako zdroje světla v klasických biolampách se používají nejčastěji halogenové výbojky, které však vykazují nižší efektivitu a dílčí komplikace při aplikacích. Vysoké zahřívání světelného zdroje

totiž vede k produkci nežádoucího tepla, které může omezit jejich použití u některých stavů (např. zánětlivé stavy) a také snižuje možnosti používání z důvodů nutných přestávek při aplikaci.

Využívat ji můžeme jednak pro domácí účely, ale také v klinické praxi. Stala se uznávanou metodou v celé řadě oborů jako je dermatologie, chirurgie, pediatrie, rehabilitace, revmatologie, ale také například kosmetika nebo veterinární medicína. [5],[16],[17]



Obr. 10 A – Volič frekvencí modulace, B – Biolampa MediCom [16]



Obr. 11 A – BIOPTRON Compact III, B – BIOPTRON Pro 1, C – BIOPTRON 2 [13]

3.1.2.2 Fotonové lampy na bázi LED

Jako zdroje světla se využívají vysoce svítivé LED s polarizovaným světlem a speciální polarizační folie.

Z fyzikálního hlediska se toto světlo blíží světlu laserovému, avšak s možností libovolně velké plošné aplikace. Toto světlo proniká podle charakteru tkáně až do hloubky několika centimetrů a k výrazným specifickým biochemickým změnám nedochází pouze lokálně, ale také na úrovni celého organismu.

Fotonové lampy na bázi LED generují světlo studené, které je velmi významné, například při léčbě zánětů. Díky nekoherentnosti světla nejsou zapotřebí speciální bezpečnostní a hygienické podmínky. Takto konstruovány jsou například přístroje Biostimul, které jsou určeny jak pro individuální, tak specializované klinické použití. Vykazují analgetické účinky formou lokálních změn v potenciálech buněčných membrán vedoucích ke snížení podnětového prahu, protizánětlivé účinky sníženou tvorbou prostaglandinů v tkáních a biostimulační účinky, kde především stimulují mitochondriální systémy a produkci T – lymfocytů a akcelerují metabolické procesy.

Biostimul BS 501 - určen pro velkoplošnou 3D světelnou terapii červeným polarizovaným světlem. Skládá se z velkoplošného fotonického displeje (zdroje terapeutického světla) a kovového stojanu s podvozkem opatřeným kolečky, na kterém je umístěn napájecí zdroj. Fotonický display se skládá ze tří pevně spojených a navzájem polohovatelných částí pro 3D aplikace postižených míst.

Biostimul BS 302 – určen především pro domácí použití, díky zabudovanému mikroprocesoru a integrovanému časoměři se zvukovou signalizací je jeho obsluha velice jednoduchá. Optimalizace tepelného a světelného magnetu umožňuje nepřetržité využívání přístroje. [18],[21]



Obr. 12 Ukázky aplikací přístroje Biostimul BS 501 [18]



Obr. 13 Aplikace Biostimulu BS 302 na dermatitis perioralis [21]

3.2 Nepolarizované světlo

Světlo, které kmitá ve všech rovinách kolmých na směr šíření paprsku.

3.2.1 UV lampy

Přirozeným zdrojem UV záření je slunce, pro terapeutické účely se však využívá celá řada umělých zdrojů:

Vysokotlaké rtuťové výbojky, které jsou především známé jako horské slunce. Zdrojem záření je elektrický výboj v parách rtuti, uzavřených v trubici z křemenného skla. Spektrálním složením odpovídá toto záření typu UV – A. Zvláštním druhem vysokotlaké výbojky je Kromayerova lampa, používaná v kožním lékařství a speciální výbojky, používané k ozařování tělesných dutin.

Nízkotlaké rtuťové výbojky, jejichž mechanismus vzniku je obdobný, ale svým spektrálním složením odpovídá typu UV – B, které má výrazné baktericidní účinky. Používá se na operačních sálech a v mikrobiologických a virologických laboratořích.

Solárium je speciální místnost vybavená několika výkonnými zdroji ultrafialového záření, především UV – A a infračerveného záření, které slouží k ozařování zdravých osob profylaktickou dávkou záření. [7]

3.2.2 Infra lampy

Přirozeným zdrojem infračerveného záření je jako v předchozím případě také Slunce. Mezi umělé zdroje pak řadíme:

Akvasol jehož záření, které prochází přes kyvetu s protékající studenou vodou, odfiltruje záření nad 1300 nm, které tepelně zatěžuje kůži na povrchu. Poté zůstává pouze záření IR-A, které proniká do hlubších vrstev tkání. Uvedený přístroj se již v současnosti nevyrábí.

Teploměty, které pracují s teplotami okolo 700 °C, příkonem okolo 500 – 600 W, vlnovou délkou kolem 3000 nm sloužící k léčebným účelům, se dnes také nepoužívají.

Žárovkové skříně a tunely, kterými se aplikovalo nefiltrované světlo na celé tělo. Používaly se zde klasické žárovky s teplotou vlákna kolem 2200 °C a vlnovou délkou 1100 nm se dnes také nepoužívají k lékařským účelům. Důvodem je nebezpečí popálení a úrazů elektrickým proudem.

Solux se jako zdroj infračerveného záření používá nejčastěji. Jedná se o žárovky různých tvarů s příkonem 250 – 1000 W, jejichž vlákna jsou rozžhavená na teplotu 2200 – 2700 °C. [5]

4 Technické prostředky bioterapie a jejich normy

4.1 Zdroje záření

Zdroje optického záření jsou objekty, v nichž dochází k přeměně různých forem energie na energii elektromagnetického záření v optické oblasti elektromagnetického spektra. Existují zdroje přirozené a umělé. Mezi přirozené zdroje řadíme především Slunce, hvězdy, atmosférické výboje a luminiscenční objekty rostlinného nebo živočišného původu. Umělé zdroje se dělí na tepelné (žárovky) a netepelné (luminiscenční diody). Podle vlastností emitovaného záření je také můžeme dělit na koherentní (lasery) a nekoherentní (spontánní záření s chaoticky měnící se fází). [19]

4.1.1 Tepelné zdroje

Jsou nejstaršími a nejjednoduššími světelnými zdroji a jejich záření je podmíněno dostatečně velkým příkonem tepelné energie. Řadíme zde žárovky, jejichž vlastním zdrojem záření je rozžhavené wolframové vlákno, umístěné ve skleněné baňce s vakuem nebo plnění inertním plynem. Dalším zástupcem jsou halogenové žárovky, které jsou plněny směsí inertního plynu a halogenu, zpravidla jódu. Účinnost těchto zdrojů je velmi nízká, z důvodu rovnováhy mezi vyzařovanou energií a teplotou. Účinnější zdroje mohou být založeny tedy na vzniku záření přímou přeměnou jiných druhů energie, než energie tepelné. Halogenové žárovky zpravidla vykazují vyšší účinnost a životnost než normální žárovky. [19]

4.1.2 Výbojkové zdroje

Patří mezi luminiscenční zdroje záření. Luminiscence je charakterizována jako přebytek záření daného tělesa vzhledem k jeho absolutní teplotě, má-li tento přebytek konečné trvání. Znamená to, že nesouvisí s teplotou tělesa a vzniká tedy přeměnou jiné formy energie. Může být vyvolána například ultrafialovým zářením (fotoluminiscence) nebo působením elektrického pole (elektroluminiscence).

Výbojky jsou skleněné nebo křemenné trubice, které mají na koncích elektrody. Jsou plněny plynem nebo parami kovů. Jakmile přivedeme dostatečné elektrické napětí na elektrody, začnou se pohybovat volné elektrony od katody k anodě a díky nárazům excitují nebo ionizují další atomy plynů. Při přechodu elektronů v atomech nebo iontech plynu ze vzbuzených stavů do stavu s nižší energií, je pohlcená energie emitována ve formě zářivé energie (elektromagnetické).

Dělíme je převážně podle tlaku, ve kterém pracují na nízkotlaké a vysokotlaké. Mezi nízkotlaké řadíme například doutnavky nebo zářivky, které mají především čárové spektrum odpovídající spektru plynné náplně. S rostoucím tlakem se čáry rozšiřují a vzniká spektrum spojitě. V optických přístrojích se používají vysokotlaké rtuťové výbojky, kde se na spektrální čáry superponuje silné spojitě spektrum. Dále je můžeme dělit podle druhu výboje (doutnavý, jiskrový, obloukový), anebo podle prostředí, v němž výboj vzniká (plyny, páry kovů).

V současnosti jsou nejpoužívanější halogenidové výbojky, které jsou podobné rtuťovým výbojkám, ale výbojová trubice obsahuje halogenidy různých kovů, které vylepšují barvu světla a zvyšují světelný tok až o 80%. Průměrná životnost je uváděna podle manuálů různých firem od 12000 do 20000 hodin. Mezi nejpoužívanější ve fototerapii se řadí výbojky značky Philips. [19]

4.1.3 Polovodičové zdroje

Polovodičové zdroje záření využívají elektroluminiscence, při níž dochází k přeměně elektrické energie ve světlo při průchodu proudu vhodným materiálem (rekombinace elektronů a děr v blízkosti P-N přechodu).

4.1.3.1 LED (Light emitting diode)

Základní fyzikální princip činnosti je založen na injekční elektroluminiscenci, čím rozumíme spontánní emisi fotonů z oblasti polovodičového P-N přechodu, kterým prochází proud. Přiložením stejnosměrného napětí na přechod P-N v propustném směru (tj. záporný pól na oblast N) dochází na přechodu k injekci elektronů do oblasti P a děr do oblasti N. V jedné nebo v obou oblastech se nadbytečné nosiče zářivě rekombinují. Tímto pak dochází k emisi světla (injekční elektroluminiscenci). Ke generaci fotonů dochází převážně v úzké oblasti v okolí ochuzené vrstvy, protože je zde největší koncentrace nadbytečných nosičů a také největší rekombinační rychlost. Přes tuto oblast nosiče náboje driftují a doba průletu nosičů náboje přes ochuzenou oblast je zpravidla mnohem kratší, než je jejich doba života v oblasti P a N. Rekombinační rychlost v ochuzené oblasti přechodu je potom zanedbatelná a tato oblast tedy nezáří.

Vhodnou volbou polovodičového materiálu a konstrukcí P-N přechodu lze dosáhnout požadované vlnové délky, kterou vyzařuje tento přechod. LED vyzařují světlo v infračervené, ultrafialové a viditelné oblasti. Nejčastěji používanými materiály jsou sloučeniny prvků III. a V. skupiny. Jedná se o prvky GaP (Galium fosfid), GaAsP (Galium arsenium fosfid) pro zelené a červené diody a prvky GaN (Galium nitrid), InGaN (Indium galium nitrid) pro modré diody. Vyrábějí se také diody vícebarevné, které obsahují více vývodů, kde jejich vhodným zapojením lze získat všechny barvy včetně bílé.

Mezi charakteristické vlastnosti LED patří světelný tok, svítivost, jas a intenzita osvětlení. **Světelný tok Φ** udává, kolik světla celkem vyzaří světelný zdroj do všech směrů. Jedná se o světelný výkon, který je posuzován z hlediska citlivosti lidského oka.

Svítivost I je mírou světelného toku vyzařovaného do prostorového úhlu.

Intenzita osvětlení E udává poměr dopadajícího světelného toku k osvětlené ploše.

Jas L světelného zdroje nebo osvětlené plochy je rozhodující pro vnímání světla. [20]

RADIOMETRICKÉ VELIČINY			FOTOMETRICKÉ VELIČINY		
Název	Označení	Jednotka SI	Název	Označení	Jednotka SI
Zářivý tok	Φ_e	W	Světelný tok	Φ	lm
Zářivost	I_e	W.sr ⁻¹	Svítivost	I	cd
Zář	$L_{e\theta}$	W.sr ⁻¹ .m ⁻²	Jas	L	nt
Intenzita ozáření	M_e	W.m ⁻²	Intenzita osvětlení	E	lx

Tab. 2 Vzájemná souvislost mezi radiometrickými a fotometrickými veličinami [20]

Převod světelného toku na svítivost:

$$I = \frac{\text{Světelný tok [lm]}}{\text{Prostorový úhel } \Omega \text{ [sr]}}$$

Převod svítivosti na světelný tok:

$$\Phi = \text{Svítivost [cd]} \times \text{Prostorový úhel [sr]}$$

Aby bylo možné tyto převody uskutečnit, je nutné znát převod rovinného úhlu na prostorový úhel.

Pro steradián platí:

$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

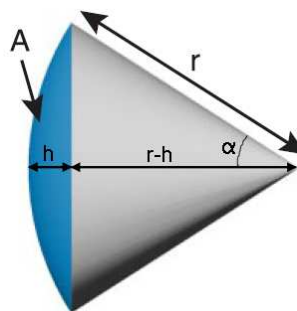
Povrh vrchlíku:

$$A = 2\pi rh$$

Dosadíme a upravíme:

$$\cos \alpha = \frac{(r-h)}{r} \rightarrow 1 - \cos \alpha = \frac{h}{r}$$

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos \alpha)$$



Obr. 14 Prostorový úhel [20]

Příklad: Spočítejte svítivost světelného zdroje, pokud je světelný tok $I=500$ lm a vyzařuje v úhlu 15° .

$$I = \frac{500}{2\pi(1 - \cos 7,5)} = 9302 \text{ cd}$$

Teplota chromatičnosti vyjadřuje barevné vnímání světla, udává se v Kelvinech (K) a definuje se porovnáním s absolutně černým tělesem. Zvýší-li se teplota tělesa, zvýší se podíl modré části spektra a sníží se podíl červené. Běžná žárovka má teplotu chromatičnosti 2700 K.

Index podání barev je hodnota, která vyjadřuje věrnost podání barev. Vyjadřuje se v procentech, kdy 100% udává naprosto věrné podání. U LED zdrojů se index podání barev pohybuje okolo 70 – 80%.

Střední doba životnosti je hodnota, která udává předpokládanou průměrnou životnost. U LED se pohybuje mezi 20 000 až 100 000 hodinami. [20]

4.1.3.2 LD (Laser diod)

Jedná se o polovodičový laser, jehož uspořádání se příliš neliší od LED, ale jeho funkce je založená na stimulované emisi optického záření v polovodičích při kvantových přechodech elektronů z vodivostního do valenčního energetického pásu a excitaci zářivé rekombinace nosičů náboje elektronů a děr, což je dosaženo injekcí nosičů náboje na přechodu P-N. Jedná se o injekční laser, který se vyznačuje vysokou zářivostí a malou rozbíhavostí laserového svazku a je tedy považován za koherentní zdroj. V pouzdře laserové diody jsou umístěny dvě diody, jednak je zde dioda laserová, která slouží ke generaci laserového záření a k ní je připojená dioda monitorovací, která slouží k monitorování výkonu laserové diody. Laserová dioda emituje záření po překročení určitého prahového proudu I_p . Pod touto hodnotou je nevhodné diodu používat, protože její citlivost je velmi malá a jedná se o oblast nekoherentního optického záření. Prahový proud bývá v rozmezí 40 – 250 mA. Prahové napětí je kolem 1,8 V a výstupní výkon běžných LD bývá 1 – 10mW. Výhody oproti ostatním laserům jsou jednak malé rozměry, velká účinnost a snadné čerpání, ale také modulace injekčním proudem. Mezi nevýhody řadíme tepelnou nestabilitu, eliptický svazek a větší šířku spektrální čáry. [2],[20]

4.1.4 Lasery

Název laser je zkratka z anglického názvu Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation a v překladu to znamená světlo zesilované pomocí stimulované emise záření. Jedná se o

záření, které produkuje koherentní monochromatické světlo. Lasery dělíme na plynové, pevnolátkové, polovodičové a kapalinové. Ve fototerapii používáme převážně lasery polovodičové, které byly popsány podrobněji v předchozí kapitole a lasery plynové.

Buzení plynový laserů je nejčastěji docíleno elektronovými srážkami ve výboji. Účinnost buzení můžeme zvýšit tak, že se aktivní plyn nebudí přímo srážkou s elektrony, ale za účasti vhodného pomocného plynu. Energie volných elektronů ve výboji se odevzdá elektronům pomocného plynu a pracovní hladina aktivního plynu se excituje srážkami atomů aktivního a pomocného plynu. Skládá se z křemíkové trubice naplněné vhodným plynem nebo směsí plynů při nízkém tlaku, aby v trubici mohl nastat výboj. Trubice je na obou koncích zakončena zrcadly, která potlačují nežádoucí reflexy na koncích trubice. Jako aktivní prostředí se nejčastěji používá helium-neon a laserové záření pak vzniká v neonových atomech s odpovídající vlnovou délkou. Z tohoto záření se emitují nepoužitelné paprsky a zesílí se červené záření. [5]

4.2 Ochrana zdraví před neionizujícím zářením

Ochrana zdraví před neionizujícím zářením je dána nařízením vlády 480/2000 Sb., které je platné od 22. listopadu 2000.

4.2.1 Vymezení základních pojmů

Neionizujícím zářením je elektromagnetické záření o frekvenci $0 - 1,7 \cdot 10^{15}$ Hz, které není schopno ionizovat atomy a molekuly, elektrická a magnetická pole. Neionizující záření dělíme do dvou skupin:

- $0 - 3 \cdot 10^{11}$ Hz
- $3 \cdot 10^{11} - 1,7 \cdot 10^{15}$ Hz – optické záření (infračervené, viditelné a ultrafialové záření)

Kde je rozhraní $3 \cdot 10^{11}$ Hz mezi mikrovlnami a infračerveným zářením a rozhraní $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz je mezi ultrafialovým a gama zářením. Pro účely fototerapeutických přístrojů se již budu zabývat pouze hodnotou $3 \cdot 10^{11} - 1,7 \cdot 10^{15}$ Hz pro vymezení optického záření.

Expozicí je jakákoli situace, kdy je osoba vystavena elektrickému nebo magnetickému poli, poli elektromagnetické vlny nebo elektrickému proudu, vyvolaným jinak než fyziologickými procesy nebo jinými přirozenými procesy v těle.

Nejvyššími přípustnými hodnotami jsou hodnoty veličin, které bezprostředně souvisejí s biologickými efekty a vznikají při expozici osob.

Referenční úrovní jsou hodnoty přímo měřitelných veličin, pomocí nichž se zjišťuje, zda u osoby vystavené expozici nemohou být překročeny přípustné hodnoty. [22]

4.2.2 Klasifikace laserů do tříd

Klasifikace veškerých fototerapeutických prostředků do tříd je odpovídající jako klasifikace laserů a to podle nařízení vlády 480/2000 Sb. Nejvyšší přípustné hodnoty hustoty zářivého toku a nejvyšší přípustné hodnoty hustoty zářivé energie jsou uvedeny v tabulkách. (Příloha I)

4.2.2.1 Třída I

Lasery, u kterých limity přípustné emise zaručují, že na úrovni oka nebo kůže osob v dosahu svazku nesmí být překročeny nejvyšší přípustné hodnoty a lasery zakrytované tak, aby se záření laserů nedostalo ven z krytu buď vůbec, nebo zeslabené natolik, že jeho parametry odpovídají limitu přípustné emise pro laser třídy I. Kryt není možné sejmout bez použití nástrojů, nebo při snímání krytu je vyzařování laseru včas automaticky přerušeno. [22]

4.2.2.2 Třída II

Nízko výkonné lasery vyzařující viditelné světlo, jejichž zářivý tok překračuje limity přístupné emise ohraničující I. třídu, které však nepřekračují hodnotu 10^{-3} W. U těchto laserů se uplatňuje přirozený lidský reflex zavření očí.

Lasery zařazené do třídy II. a vyšší se opatří výstražným textem odpovídajícím příslušné třídě. Na laserech, které jsou vzhledem k zakrytování zařazeny do I. třídy, se vyznačí zákaz snímání krytu. Pokud je zapotřebí jejich kryt sejmout, například při opravě, zachází se s nimi při sejmutém krytu jako s lasery třídy, odpovídající parametrům záření, uvedeným v jejich technické dokumentaci. [22]

4.2.2.3 Třída III. a

Lasery, jejichž limity přístupné emise překračují hodnoty pro zařazení do II. třídy, avšak nepřekračují hodnoty uvedené v normách pro třídu III. V oblasti viditelného záření při spojitém režimu generace záření jde o lasery, jejichž zářivý tok nepřekračuje hodnotu $5 \cdot 10^{-3}$ W a hustota zářivého toku nepřekračuje hodnotu $25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Zde musí být umístěné upozorňující nálepky "Pozor nebezpečné laserové záření". Pokud se na krátko podíváte do tohoto laserového paprsku, nemělo by dojít k poškození zraku. [22]

4.2.2.5 Třída III. b

Lasery, u kterých není překročen limit přístupné emise stanovený v normách, a nespádají do nižší třídy. Nebezpečí hrozí, pokud se podíváte do tohoto laserového paprsku, ale většina odražených paprsků nejsou již nebezpečné, díky jejich rozptylu.

Lasery zařazené do třídy III. b) a IV. se vybaví signalizací chodu, a to světelnou, popřípadě akustickou, pokud je pro dané podmínky vhodnější. Světelná signalizace se upraví tak, aby byla v činnosti již při zapojení napájecích zdrojů. Barva signálního světla musí být vybrána tak, aby světlo bylo viditelné i přes ochranné brýle. Dále se zabezpečí proti uvedení do chodu nepovolanou osobou, například zámkem. Prostory určené pro jejich provozování se označí výstražnými tabulkami a zákazem vstupu nepovolaných osob. Pokud je to s ohledem na způsob využívání laseru možné, odstraní se z dráhy paprsku všechny předměty, na nichž by mohlo dojít k nekontrolovaným odrazům paprsku, a paprsek se ukončí matným terčem s malým činitelem odrazu. Není-li možné zajistit chod paprsku tak, aby nezasáhl sklo v oknech, zakryjí se okna materiálem nepropouštějícím záření použité vlnové délky. Nestačí-li tato opatření vyloučit zásah očí nebo kůže přímým nebo odraženým zářením, překračujícím nejvyšší přípustné hodnoty, musí osoby, které může laserové záření zasáhnout, použít při provozu laseru příslušné ochranné pomůcky, například speciální ochranné brýle. [22]

4.2.2.4 Třída IV.

Lasery, jejichž parametry vystupujícího záření překračují limitní hodnoty přístupné emise pro lasery III. b) třídy.

Tyto lasery se umísťují do prostorů zabezpečených technickými prostředky tak, aby do nich byl zamezen vstup nepovolaných osob při chodu laseru, například koncovými spínači na vstupních dveřích, a dráha paprsku a přístup k ní se upraví tak, aby nemohlo dojít k nahodilému zásahu očí nebo kůže lidí přímým, zrcadlově nebo difúzně odraženým zářením, překračujícím stanovenou nejvyšší přípustnou hodnotu. Není-li možné ani těmito opatřeními vyloučit zásah očí nebo kůže zářením překračujícím nejvyšší přípustné hodnoty, musí být použity odpovídající osobní ochranné pomůcky, například speciální ochranné brýle. U vstupu do těchto prostorů se umísťuje světelná signalizace chodu laseru. U impulsních laserů se zajistí, aby byla při vypnutí přívodu elektrické energie vybita akumulovaná energie do zátěže.

Lasery, které mohou vyzařovat na více vlnových délkách, se zařazují do třídy odpovídající použití, při nichž je nejvyšší riziko poškození zdraví. [22]

4.2.3 Technická dokumentace

Ke každému laseru musí být přiložená technická dokumentace, v níž musí být obsaženo:

- vlnová délka, popřípadě rozsah vlnových délek
- režim generování laserového záření
- průměr svazku záření na výstupu laseru a jeho rozbíhavost
- největší zářivý tok ve spojitém režimu
- zářivá energie v impulsním režimu
- největší střední zářivý tok v impulsním režimu s vysokou opakovací frekvencí
- zařazení laserů do tříd
- údaje o jiných faktorech než záření, které by mohly nepříznivě ovlivnit pracovní prostředí
- návod ke správné montáži a instalaci
- návod k obsluze za běžných i mimořádných situací
- výrobce, výrobní číslo a rok výroby laseru

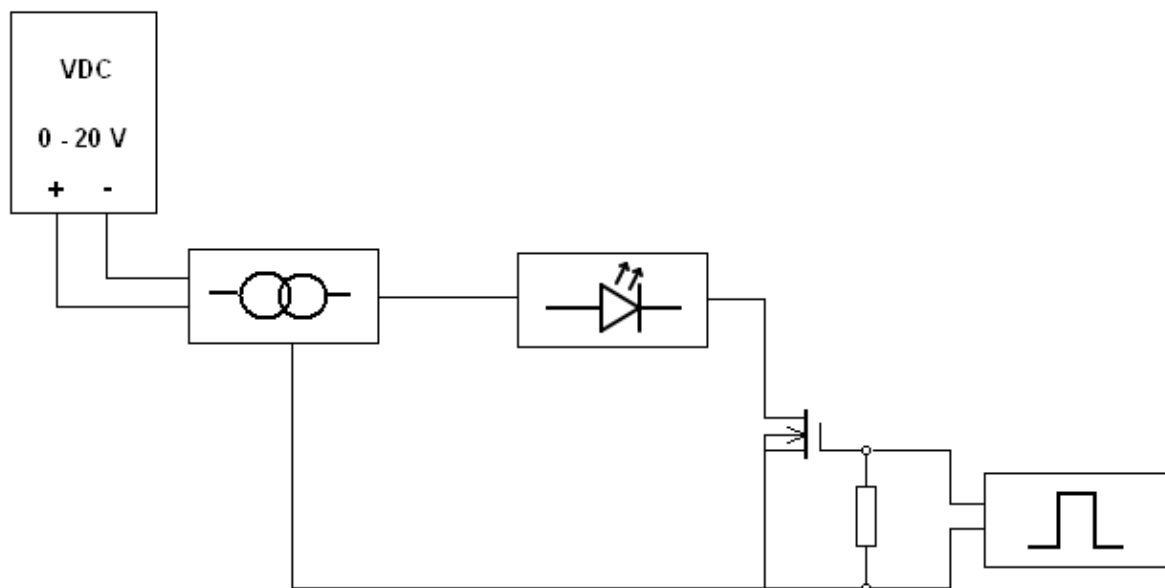
[22]

5 Aplikační bezpečnost – provozní měření

5.1 Závislost intenzity osvětlení na pulsní šířkové modulaci

5.1.1 Zapojení měřicího řetězce

Měřicí řetězec byl zapojen podle Obr. 15. Byl složen z regulovatelného zdroje napětí, konstantního zdroje proudu, LED, luxmetru, spínacího tranzistoru a generátoru.



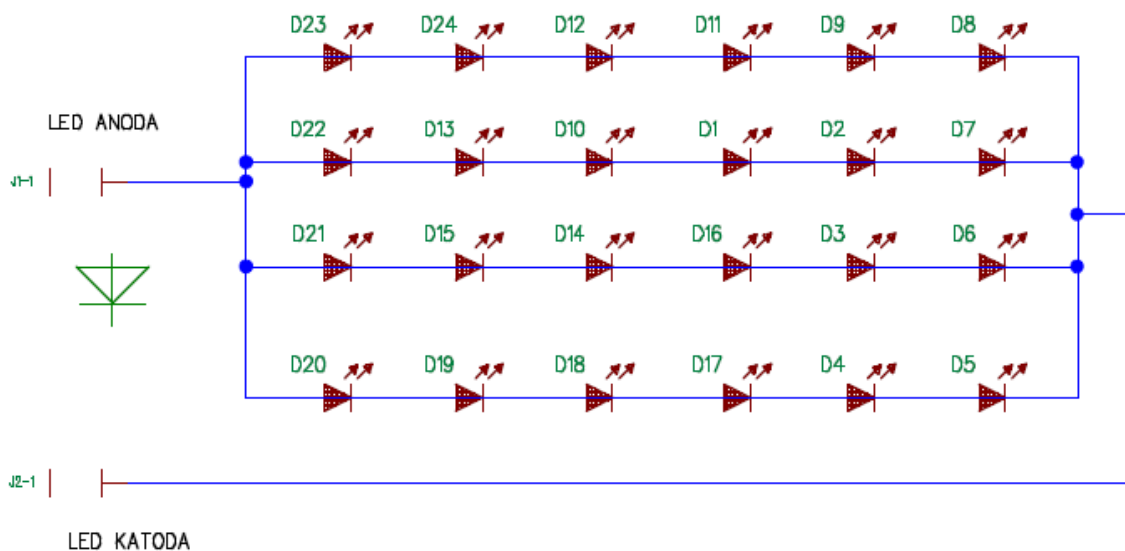
Obr. 15 Schéma zapojení měřicího řetězce



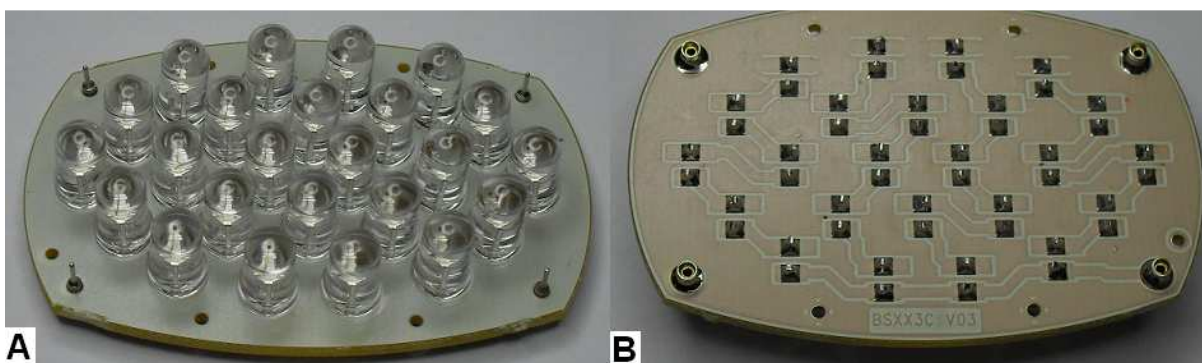
Obr. 16 Měřicí pracoviště

5.1.2 Použité vybavení

- Zdroj napětí s proudovým omezením Statron 3225
- Konstantní zdroj proudu s obvodem LM 350 v pouzdru TO220
- LED firmy AVAGO TECHNOLOGIES
 - zelená HLMP – CB34 – RSBOO (Příloha II)
 - modrá HLMP – CM34 – XYCOO (Příloha II)
 - červená HLMP – ED31 – SVOOO (Příloha III)
- Luxmetr CEM DT-1308
- Spínací tranzistor MOSFET s kanálem N, pouzdro SO8
- Generátor RIGOL DG 3061 A



Obr. 17 Schéma sériově-paralelního zapojení LED



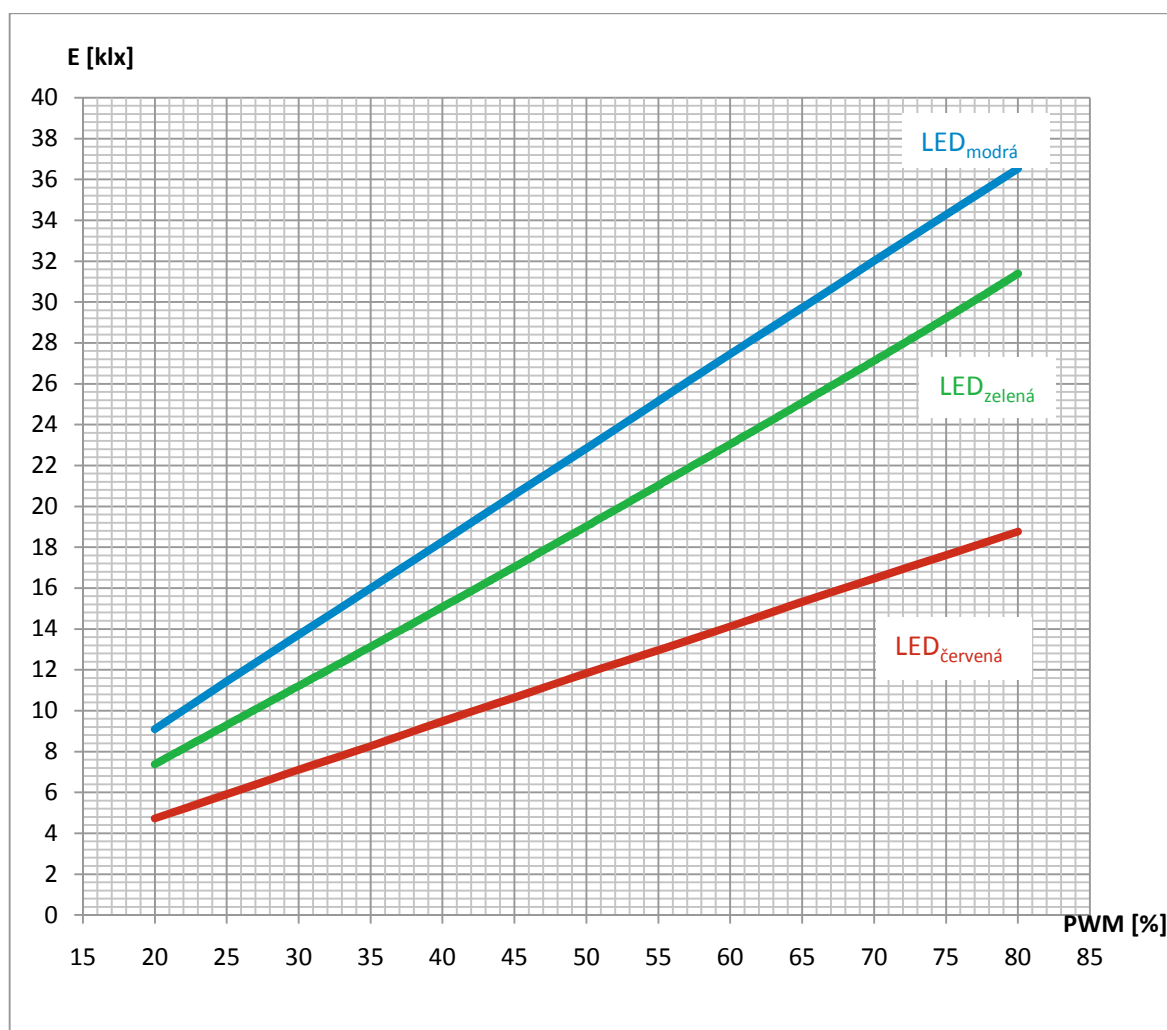
Obr. 18 A – LED řetězec z přední strany, B – LED řetězec ze zadní strany

5.1.3 Měření intenzity osvětlení

Na konstantním zdroji proudu byla nastavena hodnota 61,3 mA pro zelenou, modrou i červenou LED. A v průběhu měření nebyla tato hodnota nijak měněna. Intenzita osvětlení byla regulována pulsní šířkovou modulací (PWM) v rozmezí 20 – 80% s krokem 5%. Frekvence byla nastavena na 100 Hz s amplitudou 5V. Veškeré měřené hodnoty byly zaznamenány do následující tabulky a zpracovány do grafů.

PWM[%]	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$E_{\text{zelená}}[\text{kLx}]$	7,38	9,29	11,22	13,13	15,08	17,03	19,03	21,04	23,03	25,08	27,12	29,22	31,39
$E_{\text{modrá}}[\text{kLx}]$	9,09	11,42	13,71	15,98	18,27	20,58	22,84	25,15	27,46	29,72	32,01	34,28	36,53
$E_{\text{červená}}[\text{kLx}]$	4,73	5,91	7,11	8,27	9,49	10,65	11,84	12,97	14,13	15,33	16,48	17,62	18,77

Tab. 3 Naměřené hodnoty intenzity osvětlení pro zelenou, modrou a červenou LED



Graf 1. Závislost intenzity osvětlení na pulsní šířkové modulaci

5.1.4 Závěr

Závislost intenzity osvětlení na pulsní šířkové modulaci (PWM) je lineární, což vyplývá z grafu k měření. Můžeme také pozorovat, že při nízkých hodnotách PWM je nízká hodnota intenzity osvětlení a s rostoucí hodnotou PWM stoupá intenzita. Dále vidíme, že červená LED má nejmenší intenzitu a modrá LED je naopak nejjasnější. Intenzitu LED můžeme řídit pomocí proudu, nebo pomocí PWM. Pokud by byla intenzita řízená pomocí proudu, jde regulovat jas pouze 34x, což je ve fototerapii nedostatečné, proto jsme zvolili regulaci pomocí PWM, kde můžeme regulovat prakticky 0 – 100 % s krokem, který nám nejvíce vyhovuje. Tím se otevírá možnost regulace mnohonásobně vyšší, než jak je tomu u regulace pomocí proudu. Pro dokázání linearity je krok 5% dostačující.

6 Zhodnocení fototerapie z hlediska účinnosti technických prostředků ve vybraném lékařském oboru

6.1 Fototerapie v neonatologii

Fototerapie se v neonatologii používá k léčbě novorozenecké žloutenky, která postihuje 50% donošených a 80% nedonošených novorozenců.

6.1.1 Novorozenecká žloutenka

Novorozenecká žloutenka je způsobena rozpadem červených krvinek (erytrocytů) dítěte. V době, kdy je plod ještě v matčině děloze získává kyslík z matčiny krve přes placentu. Tato krev obsahuje méně kyslíku než krev v tepnách dospělého jedince. Plod je tedy odkázán k tomu, aby se vyvíjel při relativním nedostatku kyslíku. Jeho organismus je však na toto prostředí adaptován zvýšeným počtem červených krvinek, které obsahují jiný typ červeného krevního barviva, než krvinky narozených dětí a dospělých. Díky tomuto typu krevního barviva, tzv. fetálnímu hemoglobinu, mohou krvinky přenášet a uvolňovat kyslík i v prostředí s menším obsahem kyslíku. Ihned po porodu dítě začíná dýchat a jeho tělo je zásobováno kyslíkem z plic, jeho krev je tedy více okysličená a nadbytek červených krvinek začne být zbytečný. Proto se začnou ve velkém množství rozpadat a tím se do krve uvolňuje hemoglobin, který je dále metabolizován na žluté krevní barvivo – bilirubin. Ten je zpracováván játry a vylučován do žluče, která odchází se stolicí. Z důvodu nezralosti a plné funkčnosti jater novorozenců se nestačí velké množství bilirubinu odbourávat a jeho hladina v krvi se zvyšuje a hromadí se v tkáních. Projevuje se žlutým zbarvením kůže a sliznic a je velice dobře pozorovatelný na očních bělmech. Žloutenka se objevuje druhý den po porodu a vrcholí třetí až čtvrtý den, avšak u komplikovaných novorozeneckých stavů (nižší porodní hmotnost, nezralost, infekce) se může objevit dříve a trvat delší dobu. [23]

6.1.2 Hyperbilirubinémie

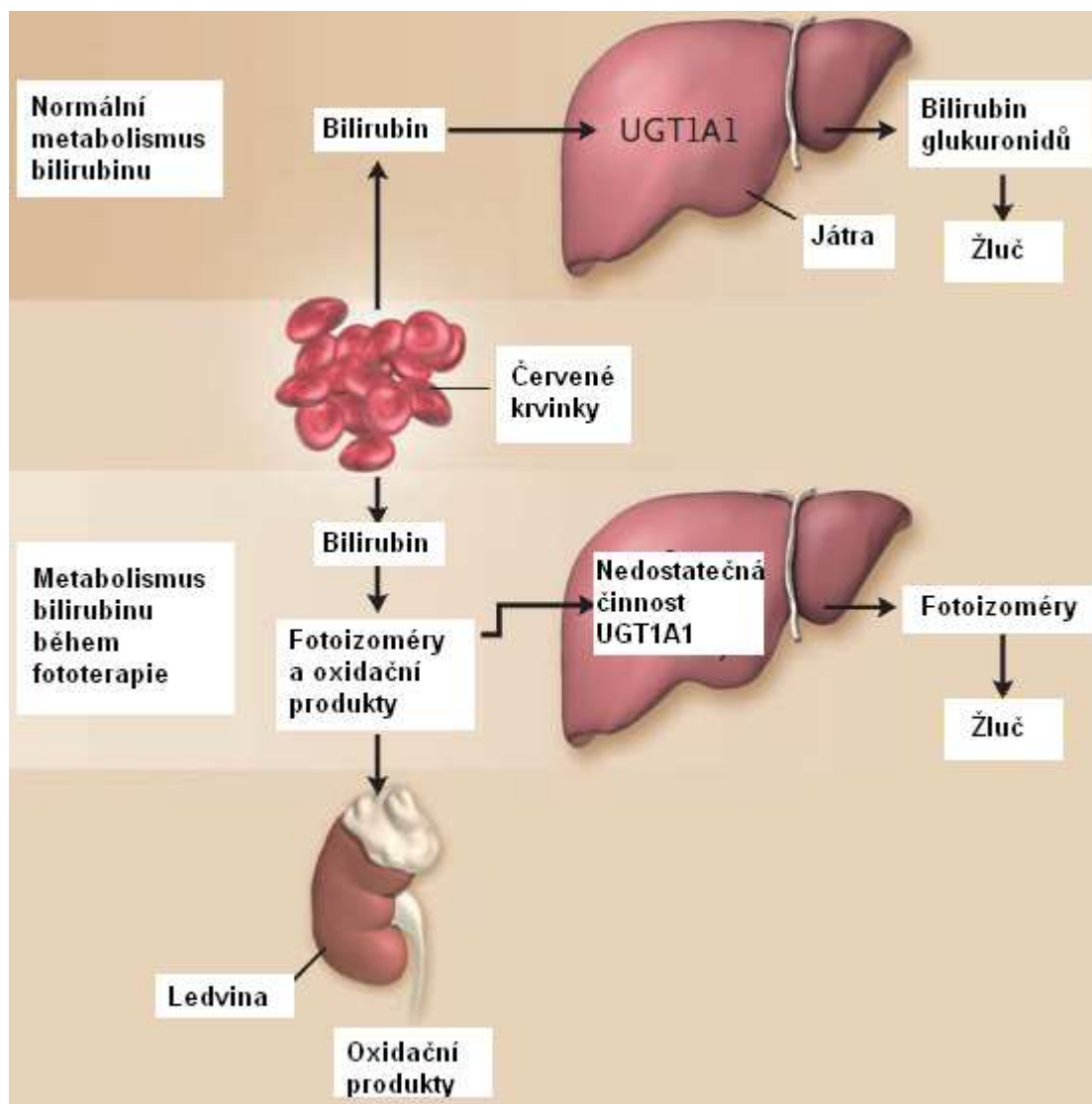
Hyperbilirubinémie je zvýšení hladiny bilirubinu v krvi nad 25 $\mu\text{mol/l}$, žloutenka je pak patrná při hladinách nad 85 $\mu\text{mol/l}$. Důležité je rozlišit zda se jedná o fyziologickou nebo patologickou hyperbilirubinémii. Fyziologická hladina bilirubinu není škodlivá, je pouze součástí přirozené ochrany proti kyslíkovým radikálům. Toxický je volný nekonjugovaný bilirubin, který působí na bazální ganglia, jádra hlavových nervů, mozeček a sluchové dráhy. [24]

6.1.2.1 Fyziologická hyperbilirubinémie

Přechodné zvýšení nekonjugovaného bilirubinu, které se projevuje po 36 hodinách věku a maximální hladiny dosahuje 3. až 4. den života (u nedonošených novorozenců pak 5. až 7. den života). Celkový bilirubin dosahuje maxima 205 $\mu\text{mol/l}$ a pokles nastává koncem 1. týdne života. Hladina bilirubinu z pupečnickové krve je pod 68 $\mu\text{mol/l}$ a dítě je klinicky bez obtíží, prospívá, budí se na pití a u kojení je čilé. V tomto případě je důležité sledovat dynamiku – ústup žloutenky, pokles bilirubinu a celkový stav dítěte. U jinak zdravého donošeného novorozence jsou rizikové hladiny až nad 480 $\mu\text{mol/l}$. [24]

6.1.2.2 Patologická hyperbilirubinémie

Začíná v prvních 24 hodinách života a stoupá rychleji než $85 \mu\text{mol/l}$ za den. Konjugovaný bilirubin je nad $34 \mu\text{mol/l}$ nebo nad 10% celkového bilirubinu. Kromě žloutenky evidujeme i jiné komplikace zdravotního stavu např. poruchy teploty, letargie, tachypnoe, apnoické pauzy a bledost. Maximální hladina bilirubinu v krevním séru je vyšší než obvyklá hladina fyziologické hyperbilirubinémie podle věku dítěte. [24]

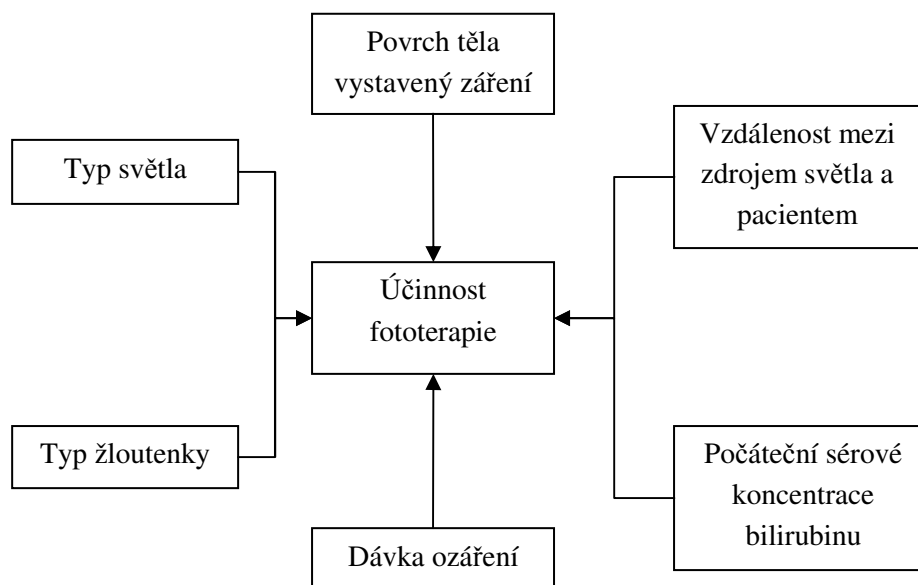


Obr. 19 Srovnání normálního metabolismu bilirubinu a metabolismu bilirubinu při fototerapii [26]

V normálním metabolismu je nekonjugovaný bilirubin v krvi vázán na albumin, pokud není překonána jeho vazebná kapacita. Nepřímý bilirubin (rozpuštěný v tucích) je vychytáván játry a konjugován s kyselinou glukuronovou na konjugovaný přímý bilirubin, který je rozpustný ve vodě a vylučován do žluče. Bez procesu glukuronidace nemůže být bilirubin vyloučen do žluče. Fototerapie pak převádí bilirubin na fotoizoméry a oxidační produkty, které jsou méně lipofilní než bilirubin a nevyžadují pro vylučování jaterní konjugace. Fotoizoméry jsou poté vylučovány žlučí a oxidační produkty močí. [24],[26]

6.2 Účinnost fototerapie v neonatologii

Účinnost fototerapie je závislá na několika faktorech, mezi které patří počáteční sérové koncentrace bilirubinu, povrch těla, které je vystaveno světlu, vzdálenost mezi zdrojem světla a pacientem, ozáření, použitého druhu světla a druhu zvolené fototerapie. [25]



Obr. 20 Proměnné, které jsou závislé na účinnosti fototerapie v neonatologii [25]

6.2.1 Počáteční sérové koncentrace bilirubinu

Čím vyšší je počáteční hladina bilirubinu v séru, tím je výraznější a rychlejší jeho pokles. Účinnost fototerapie se tedy snižuje s poklesem bilirubinu. [25]

6.2.2 Povrch těla vystavený světlu

Vzhledem k tomu, že fototerapie působí na kůži pacienta je tento prvek také důležitým činitelem účinnosti. Čím větší je ozářená plocha, tím je fototerapie účinnější. Použití plen u novorozenců značně snižuje plochu pro ozáření, proto se využívají různé odrazné plochy (parabolická zrcadla, hliníkové fólie, bílé tkaniny), které se umísťují pod nebo okolo novorozence, aby se zvětšil povrch ozáření. Použitím těchto artefaktů se zvyšuje působení světla až o 35%. Protože světlo může být toxické pro nevyvinuté sítnice, je potřeba při terapii zakrýt novorozenci oči. [25]

6.2.3 Vzdálenost mezi zdrojem světla a pacientem

V současné době je známo, že ozáření může být zvýšené, pokud bude zdroj světla co nejblíže pacientovi. Ve fototerapii bylo prokázáno, že ozáření pomocí bílé zářivky na kůži novorozence se zvýšilo o $4 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$, když byl zdroj světla umístěn 30 cm nad pacientem. Ozáření se zvýšilo až o $8 - 12 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$, když byl zdroj světla umístěn do vzdálenosti 10 – 20 cm. Pokud je zdroj příliš blízko, vzniká tak nebezpečí přehřátí až popálení novorozence. Doporučená vzdálenost je proto 30 cm nad pacientem. [25]

6.2.4 Ozáření

Měří se pomocí radiometru nebo spektrometru v jednotkách W/cm^2 nebo $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ v určitém pásmu vlnových délek. Například při umístění zdroje 20 cm nad dítě by měly standardní jednotky denního světla fototerapeutických přístrojů zajistit spektrální ozáření $8 - 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ v oblasti 430 – 490 nm. Zatímco speciální fluorescentní lampy budou zajišťovat $30 - 40 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$. Americká pediatriká akademie definuje intenzivní fototerapii jako spektrální intenzitu záření na nejméně $30 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ na stejnou šířku pásma dodanou tělu dítěte (na co největší ozářenou plochu). Tohoto může být nejlépe dosaženo pomocí zdrojů světla, které budou umístěny pod i nad novorozencem. [25]

6.2.5 Typ hyperbilirubinémie

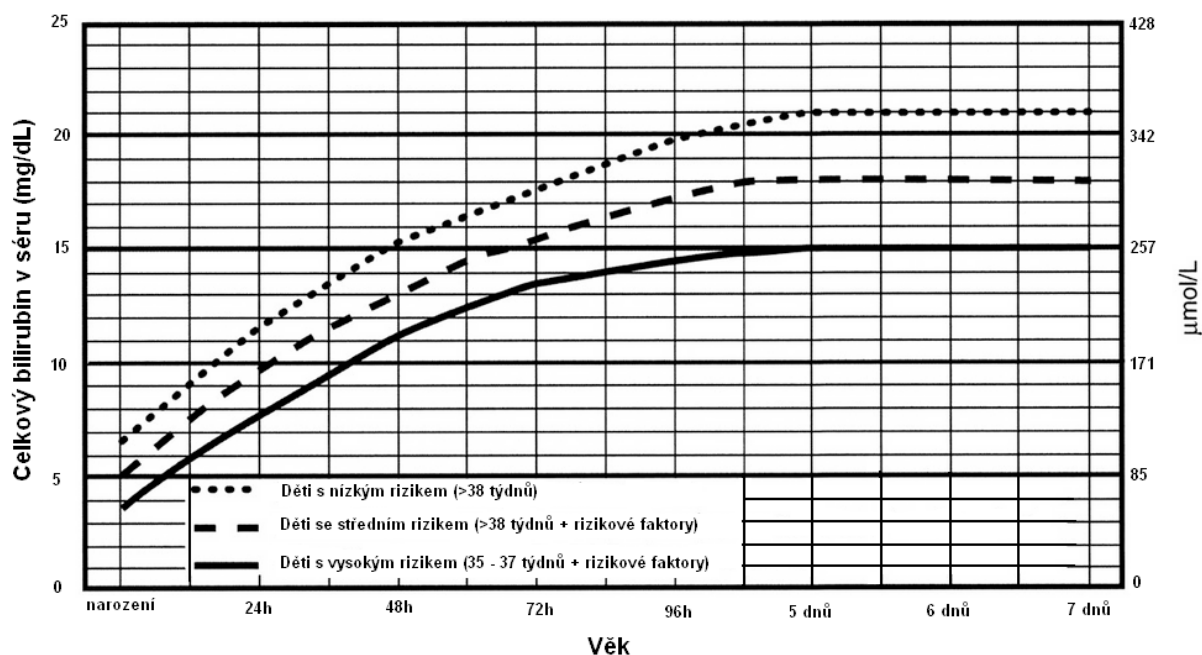
Účinnost fototerapie dále závisí na závažnosti hyperbilirubinémie, zda se jedná o formu fyziologickou nebo patologickou a zda léčbu provází komplikace. U některých dětí s celkovou úrovní hladiny bilirubinu v séru vyšší než $513 \mu\text{mol/l}$ může intenzivní fototerapie vyústit v pokles až o $171 \mu\text{mol/l}$ během několika hodin. [25]

6.2.6 Druh světla používaný ve fototerapii

Molekuly bilirubinu absorbují světlo v pásmu mezi 400 nm – 500 nm s vrcholem kolem 460 nm. Teoreticky, všechny druhy světla, které vyzařují dostatek energie v rámci tohoto rozsahu, by měly být účinné k navození fotodegradace bilirubinu. Dávky a účinnost fototerapie jsou ovlivněny typem světelného zdroje, přičemž v neonatologii jsou nejčastěji používány speciální zářivky a LED modrého nebo modro-zeleného viditelného světla s nízkou vlnovou délkou (okolo 450 – 490 nm), které urychlují vylučování barviva. Bilirubin je citlivý na světlo, které vyvolává jeho tzv. izomerizaci a izomer bilirubinu je pak možné přímo vyloučit do žluče a tím se urychluje ústup novorozenecké žloutenky. [25]

6.3 Druhy fototerapie v neonatologii

Neonatologie využívá různé druhy fototerapie, mezi které patří například konvenční fototerapie, která využívá jako zdroj světla fluorescentní lampy s intenzitou záření $3 - 4 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ a vzdáleností zpravidla 50 cm od novorozence. Emitované záření je velmi nízké a nepokrývá dostatečně velkou plochu, proto je tento způsob fototerapie v současnosti zanedbatelný. Dalším druhem je kontaktní fototerapie, kdy je novorozenec položen na optické podložce. Jako zdroj světla jsou používány speciální halogenové žárovky, které jsou spojeny s podložkou pomocí optického kabelu. Podložka je konstruována ve tvaru obdélníku velikosti zpravidla 13 x 10 cm. Tato podložka obsahuje filtry, které propouštějí světlo v pásmu 400 nm – 500 nm. Ozáření, které emituje optická podložka je $35 - 60 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$. Mezi další řadíme vysoce intenzivní fototerapii. Jedná se o 16 speciálních modrých zářivek, které byly zkonstruovány do válce. Novorozenec je umístěn uvnitř tohoto válce tak, aby byly lampy okolo ve vzdálenosti 15 cm. V tomto případě dosahuje intenzita záření až $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ a snížení hladiny bilirubinu v séru přichází v 70% v prvních 6 hodinách. Nejmodernějším způsobem fototerapie je v současnosti použití zdroje světla LED, které jsou charakterizovány krátkým emisním spektrem a nedochází proto k termálním účinkům. Pro léčbu novorozenecké žloutenky jsou sestaveny v deskách s obsahem 100, 200 nebo 300 jednotek a tyto desky jsou umístěny v přímém kontaktu s pacientem nebo na variabilní vzdálenosti a dosahují ozáření až $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$. [25]



Obr. 21 Pokyny pro intenzivní fototerapii u hospitalizovaných dětí narozených v gestačním věku 35 týdnů a více [26]

Tyto pokyny se vztahují na intenzivní fototerapii, která je definovaná jako ozáření v modro – zeleném spektru (430 – 490 nm) nejméně $30 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$. [26]

6.4 Technické prostředky používané v neonatologii

6.4.1 Inkubátory a vyhřevná lůžka

Inkubátory poskytují stabilní mikroprostředí pro předčasně narozené a nemocné děti. Zajišťují prostředí s optimální teplotou, vlhkostí a světelnými podmínkami. Jsou vybaveny citlivou regulací teploty a přesným podáváním kyslíku.



Obr. 22 Inkubátor Caleo s vyhřevným lůžkem Babytherm [27]

Výhřevné lůžko umožňuje dětem zachovat optimální teplotní komfort, je opatřeno integrovaným plošným i bodovým osvětlením, fototerapií, antidekubitní matrací, váhou a citlivou regulací teploty.

6.4.2 Fototerapeutické zářiče v neonatologii

Typy zářičů pro fototerapii v neonatologii se odvíjejí od použitého druhu fototerapie a zdrojů světla, jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách.



Obr. 23 Optické podložky firmy BiliSoft používané v kontaktní fototerapii [27]



Obr. 24 Fototerapeutická lampa ALFAMEDIC FL – 222 [27]

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou fototerapie, popsání účinků světla na biologickou tkáň a zhodnocení použitých technických prostředků s různými zdroji světla – lasery a fotonové lampy. Fototerapie využívá elektromagnetického záření různých vlnových délek, které se liší především svými účinky na živý organismus. Světlo má dva základní regulační směry – propojení mezi redukčními funkcemi mitochondrií aktivovaných světlem, změnami v redukčním stavu cytoplasmy, depolarizací buněčné membrány a vzestupem pH (alkalizace cytoplasmy) a kontrolu hladiny ATP. Změny zaznamenáváme také na extracelulární úrovni, kde se především jedná o účinky záření na fibroblasty a kolagen při hojení ran. Obecně jsou dnes uváděny tři hlavní efekty při působení světelné energie – biostimulační, analgetické a protizánětlivé.

Technické prostředky ve fototerapii byly rozděleny podle použitého světla na polarizované a nepolarizované. Mezi polarizované patří laser a fotonové lampy a mezi nepolarizované UV – lampy a infra lampy. Pro efektivní využití při léčbě jsou používány lasery a fotonové lampy, UV a infra lampy slouží pro kosmetické účely. Lasery jsou z hlediska výkonu silnější, avšak jsou konstruovány na principu monochromatického světla, což je úzce specifikovaný paprsek na rozdíl od fotonových lamp, které využívají světla polychromatického a mohou tedy ozářit větší plochu, ale s nižším výkonem. Lze konstatovat, že z důvodu vyššího výkonu laseru by se mohlo jevit jeho použití ve fototerapii efektivnější, což může být chyba, protože je nutné brát v úvahu další aspekty, jako je bezpečnost použití a již zmíněná plocha, kterou je nutné ozářit. Z tohoto důvodu by se mělo brát v úvahu zkonstruování zářiče, který by byl schopen ozářit co největší plochu, ovšem s výkonem laseru.

Použité zdroje záření byly rozděleny na tepelné, výbojkové, polovodičové a lasery. Mezi nejpoužívanější se řadí zdroje polovodičové, především LED, které vhodnou volbou materiálu zabezpečují požadované vlnové délky. Z porovnání popsaných zdrojů záření se jeví LED jako nejvhodnější, nevyzařují nadměrné teplo a mají vysokou životnost. Měřením byla ověřena velmi dobrá bezztrátová regulace světelného toku LED pomocí PWM. Závislosti vykazují lineární průběhy.

Závěrečný bodem práce bylo zhodnocení fototerapie v neonatologii, kde byly popsány druhy fototerapie, jejich účinnost a zvolené technické prostředky. V neonatologii je nejpoužívanější světlo v oblasti modré a zelené barvy s vlnovými délkami okolo 400 – 500 nm a vyzářeným výkonem nejméně $30 \mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ pro léčbu novorozenecké žloutenky. Nejefektivnější zdroje světla v zářičích jsou LED, které se skládají do sérioparalelních řetězců z důvodu zvětšení vyzářované plochy a vyšší intenzity terapeutického záření.

Závěrem lze konstatovat, že cíl bakalářské práce byl splněn. Přínosem této práce jsou informace o fototerapii jako celku – fyzikální podstata světla, biologické účinky světelné energie, zdroje záření a jejich bezpečnost, uvedení fototerapie do lékařského oboru neonatologie.

Literatura

- [1] ŠAJTER, V. *Elektroterapia a fototerapia*. Martin: Osveta, 2005. ISBN 80-8063-1
- [2] JAVŮREK, J. *Fototerapie biolaserem: Léčebná metoda budoucnosti*. Praha: Grada Publishing, 1995. ISBN 80-7169-046-5.
- [3] NAVRÁTIL, L.; ROSINA, J. *Medicínská biofyzika*. 1st ed. Praha: Grada Publishing, 2005. ISBN 80-247-1152-4.
- [4] KOLÁŘOVÁ, H.; DITRICHOVÁ, D. *Laserové záření v medicíně*. 1st ed. Olomouc: Univerzita Palackého, 1996. ISBN 80-7067-608-6.
- [5] CAPKO, J. *Základy fyziatrické léčby*. Praha: Grada Publishing, 1998. ISBN 80-7169-341-3.
- [6] *Jak funguje světlo*, 2009. LedActive.
URL:< http://ledactive.cz/fototerapie_jak_funguje_svetlo.php>
[cit. 2011-01-5].
- [7] HRAZDIRA, I.; MORNSTEIN, V. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Brno: Neptun, 2004. ISBN 80-902896-1-4.
- [8] *Fotonová terapie – Infračervené záření a péče o pleť*, 2010. ELARO s.r.o..
URL:< <http://compex.zdravi-cz.eu/fotonova-terapie.php>>
[cit. 2011-01-8].
- [9] *Záření a zdraví*, 2010. MedMuni.cz.
URL:< <http://www.med.muni.cz/dokumenty/pdf/zareni.pdf>>
[cit. 2011-01-10].
- [10] MALÝ, P. *Optika*. Praha: Karolinum, 2008. ISBN 978-80-246-1342-0.
- [11] HANUS, P.; HAVLÍK, I.; HUBÁČEK, J.; et al. *Moderní fototerapie a laseroterapie*. Praha: Manus, 2000. ISBN 80-902318-3-7.
- [12] *Vliv polarizovaného světla na subbuněčné úrovni*, 2010. Biotherapy s.r.o.
URL:< <http://fotonyx.cz/www/soubor/index.php>>
[cit. 2011-01-17].
- [13] *Rozvoj světelné terapie*, 2004. BIOPTRON AG
URL:< <http://www.bioptron.cz/?m=405>>
[cit. 2011-03-02].
- [14] ROSINA, J.; KOLÁŘOVÁ, H.; STANEK, J. *Biofyzika pro studenty medicínských oborů*. 1st ed. Praha: Grada Publishing, 2006. ISBN 80-247-1383-7.
- [15] *Terapeutické lasery*, 2011. BLT zdravotnická technika a.s.
URL:< <http://www.btl.cz/us/rehabilitace-a-lazne/laser/>>
[cit. 2011-03-03].
- [16] *Biolampa*, 2010. MediCom a.s.
URL:< <http://www.medicom.cz/p.php?p=lekarske,vyrobky,biolampa,Bioptron>>
[cit. 2011-03-04].
- [17] *Biopronová lampa Zepter, žárovky a LED diody*, 2010. Biolampa a biolampy - blog
URL:< <http://bio-lampa.blogspot.com/2010/08/na-trhu-se-u-nas-nabizi-vice-typu.html>>
[cit. 2011-03-06].
- [18] *Návod k použití – Profesionální verze Biostimulu BS 501*. Praha: Biotherapy s.r.o., 2006.
- [19] ŠTĚPÁN, K. *Zdroje fotosynteticky účinného záření a metody jeho měření*. 1st ed. Praha: Academia, 1973. ISBN 509-21-875.
- [20] MIŠEK, J.; KUČERA, L.; KORTÁN, J. *Polovodičové zdroje optického záření*. 1st ed. Brno: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1988. ISBN 04-538-88.
- [21] *Návod k použití – Biostimul BS 302*. Praha: Biotherapy s.r.o., 2006

- [22] *Nařízení vlády č. 480/2000 Sb.* Praha: 2000.
- [23] *Novorozenecká žloutenka*, 2011. Vitalion
URL:< <http://nemoci.vitalion.cz/novorozenecka-zloutenka/>>
[cit. 2011-04-20].
- [24] *Hyperbilirubinemie novorozenců a kojenců*, 2011. WikiSkripta
URL:<http://www.wikiskripta.eu/index.php/Hyperbilirubinemie_novorozenc%C5%AF_a_kojenc%C5%AF>
[cit. 2011-04-20].
- [25] CARVALHO, M. Treatment of neonatal hyperbilirubinemia. *Journal de Pediatrce*. Rio de Janeiro, 2001.
- [26] MAISELS, J., McDONAH, A. Phototherapy for Neonatal Jaundice. *The New England Journal of medicine*. Massachusetts, 2008.
- [27] *Katalog zdravotnické techniky ALFAMEDIC*. Lišov: Alfamedic s.r.o., 2006.

Seznam příloh

Příloha I

- Tab. 1 Nejvyšší přípustná expozice při přímém působení laserového záření na rohovku oka (přímý pohled do svazku) – vyjmuto z Nařízení vlády Sb. 480/2000
- Tab. 2 Limity přípustné emise pro laserová záření třídy I – vyjmuto z Nařízení vlády Sb. 480/2000
- Tab. 3 Limity přípustné emise pro laserová zařízení třídy III. a) – vyjmuto z Nařízení vlády Sb. 480/2000
- Tab. 4 Limity přípustné emise pro laserová záření třídy III. b) – vyjmuto z Nařízení vlády Sb. 480/2000
- Tab. 5 Doplnující hodnoty parametrů C_1 , C_2 , C_3 , C_4

Příloha II

- Manuál modré LED firmy AVAGO TECHNOLOGIES – HLMP-CB34-RSBOO
- Manuál zelené LED firmy AVAGO TECHNOLOGIES – HLMP-CB34-RSBOO

Příloha III

- Manuál červené LED firmy AVAGO TECHNOLOGIES – HLMP-ED31-SVOOO